

MINISTRY OF EDUCATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS
Belarusian National Technical University

FACULTY OF INSTRUMENTATION ENGINEERING

**NEW TRENDS IN INSTRUMENTATION
ENGINEERING**

**Proceedings
of the 19th International Scientific and Technical Conference of
Young Scientists and Students**

April 15–17, 2026
Minsk, Republic of Belarus

Minsk
BNTU
2026

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

**НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

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

15–17 апреля 2026 года
Минск, Республика Беларусь

Минск
БНТУ
2026

УДК 681.2.002 (063)
ББК 34.9я431
Н74

Редакционная коллегия:

*А. М. Малярович (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 физико-математических наук *В. Б. Оджаев*,
доктор технических наук *М. Л. Хейфец*

Издание включает материалы 19-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.

СЕКЦИЯ 1. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

UDC 681

COMPARATIVE ANALYSIS OF SIC AND GAN WIDE-BAND GAP DEVICES IN HIGH-EFFICIENCY DUAL ACTIVE BRIDGE CONVERTERS FOR EV CHARGING INFRASTRUCTURE

Dhliwayo P.¹Musiiwa P. B.¹, Rushambwa M. C.¹, Tyavlovsky A. K.², Svistun A. I.², Kapuya E. T.³, Musademba D.⁴¹Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus³University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe⁴Chinhoyi University of Technology, Chinhoyi, Zimbabwe

The transition toward sustainable mobility necessitates the development of high-power density and ultra-efficient Electric Vehicle (EV) charging systems. Conventional Silicon (Si) based power conversion stages are increasingly limited by thermal constraints and switching losses as charging demands move toward higher voltages. This paper investigates the integration of Wide-Band Gap (WBG) materials, specifically Silicon Carbide (SiC) and Gallium Nitride (GaN), as efficient enhancers for EV charging architectures. A primary focus is placed on the Dual Active Bridge (DAB) converter, a critical topology for bidirectional Vehicle-to-Grid (V2G) applications. By utilizing SiC MOSFETs, the system achieves significant reductions in switching energy losses, enabling higher operating frequencies and reduced footprint for passive components such as inductors and transformers. Comparative performance data indicates that WBG-based systems can achieve efficiencies exceeding 98 %, significantly outperforming Si-based counterparts in high-temperature environments. Furthermore, the integration of these devices facilitates the development of Smart Optimized charging stations that can respond dynamically to smart grid signals. The following resistance characteristics were observed during high-frequency prototype testing (Fig. 1)

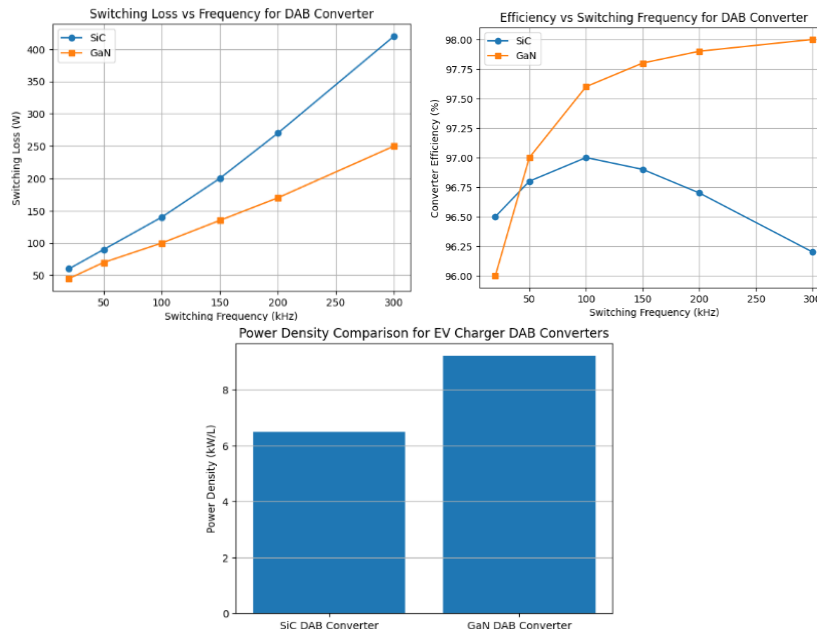


Fig. 1. Resistance characteristics

The results confirm that WBG devices are indispensable for the next generation of EV infrastructure, providing the thermal stability and efficiency required for rapid-charging standards.

References

1. Wang, J. Review of Wide Bandgap Power Semiconductor Devices in Future Power Systems / J. Wang // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2021. – Vol. 36, № 4. – P. 45–60.
2. Trivedi, S. S. Comparative analysis of dual active bridge DC–DC converter employing Si, SiC and GaN MOSFETs for G2V and V2G operation / S. S. Trivedi, A. V. Sant // Energy Reports. – 2022. – Vol. 8. – P. 1011–1019.

3. Su, G. J. Comparison of Si, SiC, and GaN based isolation converters for onboard charger applications / G. J. Su // IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE): proc., 2018. – P. 1233–1239.
4. Gill, L. Evaluation and development of medium-voltage converters using 3.3 kV SiC MOSFETs for EV charging applications / L. Gill. – [Blacksburg]: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2019. – (Master's thesis).
5. Roccaforte, F. Processing issues in SiC and GaN power devices technology: the cases of 4H-SiC planar MOSFET and recessed hybrid GaN MISHEMT / F. Roccaforte, G. Greco, P. Fiorenza // 2018 International Semiconductor Conference (CAS): proc., [S. l.], 2018. – [Piscataway]: IEEE, 2018. – P. 7–16.
6. Gallium nitride (GaN) based high-power multilevel H-bridge inverter for wireless power transfer of electric vehicles / J. Chevinly, S. Salehi Rad, E. Nadi [et al.] // 2024 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC): proc., [S. l.], 2024. – [Piscataway]: IEEE, 2024. – P. 1–5.
7. Ponnambalam, R. GaN-Based DC-DC Converters for EV Fast Charging: A Review of Wide Bandgap Devices Technology / R. Ponnambalam, I. Vairavasundaram // Results in Engineering. – 2025. – P. 107548.
8. Rao, J. V. G. R. Soft-switching dual active bridge converter-based bidirectional on-board charger for electric vehicles under vehicle-to-grid and grid-to-vehicle control optimization / J. V. G. R. Rao, S. Venkateshwarlu // Journal of Engineering and Applied Science. – 2024. – Vol. 71, № 1. – P. 49.

UDC 681

WILSON CLOUD CHAMBER WITH PELTIER ELEMENTS

Students of gr. 10608121 Kulik A.V., Verich A. V.

PhD, Associate Professor Kachan S. M.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The Wilson cloud chamber is one of the fundamental tools for visualizing the tracks of charged particles (alpha particles, beta particles, cosmic muons, etc.) in educational and scientific laboratories. Tracks of charged ionizing radiation are formed by condensing supersaturated vapors of isopropyl or ethyl alcohol on atoms ionized by nuclear radiation.

There are two traditional methods for producing supersaturated vapor. In the classic vacuum method, supersaturation is achieved by abruptly lowering a piston, causing adiabatic expansion and rapid cooling of the alcohol vapor inside the chamber. The second method involves cooling the vapor with dry ice. The bottom of the chamber is rapidly cooled (up to -50°C), while the top remains at room temperature. This creates a vertical temperature gradient: alcohol vapor, evaporating from the upper wick, descends, enters the cold zone, and reaches a state of high supersaturation. However, both methods have significant drawbacks. In the first case, very little time is allowed to achieve supersaturation conditions and, consequently, to observe traces. In the second case, problems arise with the transportation, storage and safe use of dry ice.

We have implemented a cloud chamber that, instead of traditional dry ice cooling, achieves temperatures down to -50°C using thermoelectric Peltier modules. Since the Peltier modules themselves are cooled on one side, while the other requires heat removal for uninterrupted operation, we implemented a comprehensive system for maintaining a low temperature in the chamber. This system includes a stack of Peltier elements and a dual-loop cooling system consisting of a water coolant, which removes heat from the Peltier elements, and an air coolant, which cools the water loop. A detailed description of the system is provided in [1]. The general view of the chamber without the external cooling system is presented in Fig.1. The generation of alpha particle tracks from a point source placed in the center of the chamber is shown in Fig. 2.



Fig. 1. General view of the chamber without the external cooling system

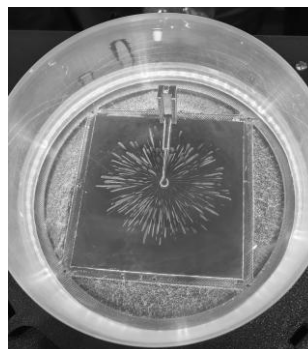


Fig. 2. Alpha particle tracks in the chamber cavity

The proposed modern mobile cloud chamber using Peltier elements offers several significant advantages. First of all, it does not use hazardous cryogenic agents. And the second important advantage: it operates in a stationary mode, allowing for continuous (for ours!) visualization and investigation of charged particle tracks. This implementation of a cloud chamber opens up broad opportunities for education, research, and the popularization of science. A cloud chamber with Peltier elements can be used in educational laboratories for practical training on the interaction of nuclear radiation with matter in nuclear physics disciplines. Furthermore, this device can be effectively used in physics classes, school physics clubs, science museums, and popular science labs.

References

1. Verich, A. V. Operating modes of the cooling system of a Wilson chamber on Peltier elements / A. V. Verich, A. V. Kulik, S. M. Kachan // Youth in Science – 2025: abstracts of reports of the XXII Int. scientific conf. of young scientists, Minsk, September 16–18, 2025 / In four parts. Part 4. Phys.-math., physical-technical sciences / National Academy of Sciences of Belarus, Council of Young Scientists; editorial board: V. L. Gursky (editor-in-chief) [and others]. – Minsk: Belarusian Science, 2025. – P. 123–125.

UDC 681

DESIGN OF OPTIMISED DUAL ACTIVE BRIDGE CONVERTERS

Machongwe T.¹

Musiwa P. B.¹, Rushambwa M. C.¹, Tyavlovsky A. K.², Svistun A. I.⁴, Kapuya E. T.³, Musadamba D.⁴

¹Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

³University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe

⁴Chinhoyi University of Technology, Chinhoyi, Zimbabwe

The dual active bridge (DAB) converter has emerged as one of the most compelling topologies for bidirectional DC-DC power conversion, particularly in applications demanding high power density, galvanic isolation, and V2G capabilities [1]. This paper presents an investigation into the design, analysis, and optimization of DAB converters, providing a systematic framework that bridges theoretical foundations with practical implementation and consideration. Figure 1 shows the schematic diagram of a canonical DAB topology showing primary bridge (Q5–Q8), secondary bridge (Q1–Q4), high frequency transformer with turns ratio $n:1$, and a series inductor L_2 [2].

The phase shift modulation principle is analysed in detail, establishing the mathematical relationship between the phase shifted angle and power transfer magnitude. The average power transferred from primary to secondary is given by:

$$P = \frac{(V_{in} \cdot n V_{out})}{(2\pi f_s L) \cdot \psi(1 - |\psi|/\pi)}. \quad (1)$$

Where f_s is switching frequency, L is total series inductance, and ψ is the phase shifted angle in radians [3]. This parabolic characteristic shows that the maximum power transfer occurs at $\psi = \pi/2$ radians, with bidirectional capability evident from the sign of ψ determining direction flow [4]. A steady state analysis develops the key equations for power transfer, inductor current waveforms, and zero-voltage switching (ZVS) boundaries under single phase-shift control. ZVS attainment depends critically on voltage gain and inductor current magnitude at switching instants, with the condition for primary bridge leading leg ZVS expressed as:

$$I_{L(min)} \geq \frac{(2C_{oss} \cdot V_{in})}{T_{dead}}. \quad (2)$$

Where C_{oss} is switch output capacitance and T_{dead} is the dead time between complimentary switch transitions. The critical role of leakage inductance and transformer design in determining converter performance is explored, including influence on ZVS attainment, reactive power circulation, and overall efficiency. The paper concludes that optimized DAB designs achieve efficiencies exceeding 96 % across wide operating ranges while maintaining excellent transient performance, positioning the topology as a compelling solution for next generation power electronic systems where efficiency, power density, and bidirectional capability are paramount. This comprehensive treatment serves as both a foundational reference for researchers entering the field and practical guide for engineers engaged in DAB converter

development, with simulation results confirming the validity of design equations and providing confidence for practical implementation.

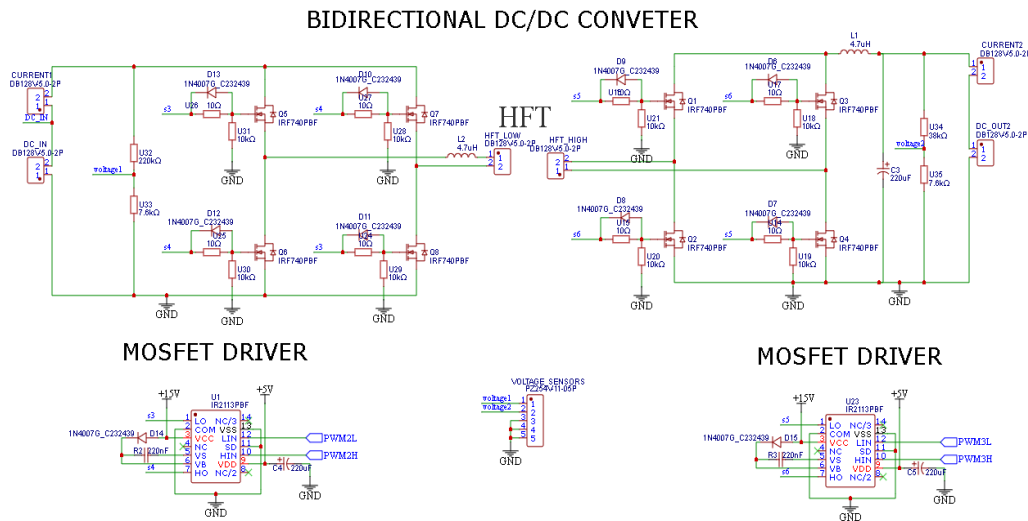


Fig.1. DAB Schematic Diagram

References

1. De Doncker, R. W. A three-phase soft-switched high-power-density DC/DC converter for high-power applications / R. W. De Doncker, D. M. Divan, M. H. Kheraluwala // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1991. – Vol. 27, № 1. – P. 63–73.
2. Kheraluwala, M. N. Performance characterization of a high-power dual active bridge DC-to-DC converter / M. N. Kheraluwala, R. W. Gascoigne, D. M. Divan, E. D. Baumann // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1992. – Vol. 28, № 6. – P. 1294–1301.
3. Krismer, F. Efficiency-optimized high-current dual active bridge converter for automotive applications / F. Krismer, J. W. Kolar // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2012. – Vol. 59, № 7. – P. 2745–2760.
4. Bai, H. Eliminate reactive power and increase system efficiency of isolated bidirectional dual-active-bridge DC-DC converters using novel dual-phase-shift control / H. Bai, C. Mi // IEEE Transactions on Power Electronics. – 2008. – Vol. 23, № 6. – P. 2905–2914.

UDC 681

DESIGN OF A MICROCONTROLLER BASED AI-POWERED ELECTRICAL TRANSFORMER PROTECTION, THEFT PREVENTION AND REMOTE MONITORING AND ALERT SYSTEM

Makanaka Dongo Fambi¹,

Taonana E.¹, Simango D.¹, Musiiwa P. B.²

¹Chinhoyi University of Technology, Chinhoyi, Zimbabwe

²Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

Electrical power infrastructure is increasingly exposed to vandalism and theft, particularly in developing countries where distribution transformers located in remote areas are poorly monitored. These incidents lead to financial losses, power interruptions and safety hazards for both utility providers and consumers. In Zimbabwe, transformer vandalism has become a major challenge due to the demand for copper windings and transformer oil. This research presents the design of a microcontroller-based Artificial Intelligence (AI) powered transformer protection, surveillance and remote monitoring system aimed at reducing transformer theft and vandalism. The proposed system integrates computer vision, embedded electronics and communication technologies to provide a proactive infrastructure security solution. The architecture consists of a camera module, Arduino Nano microcontroller, sensors and a GSM communication module that enables real-time monitoring and alert transmission. Image processing techniques and AI-based algorithms are used to detect unauthorized personnel around transformer installations. The system compares detected facial features with stored authorized personnel profiles to determine whether access should be granted or denied. When suspicious activity is detected, the system automatically triggers alarms and sends SMS alert notifications to responsible personnel using

the GSM module. A buzzer mechanism provides immediate on-site warning while a monitoring database records security events for analysis. Simulation of the electronic system was conducted using Proteus while image processing algorithms were implemented in MATLAB. The results demonstrate that the proposed system can successfully detect unauthorized access and generate automated alerts. The integration of AI surveillance and GSM communication therefore provides a cost-effective solution for protecting electrical distribution transformers and improving infrastructure security.

Table 1

Parameter	Value
Monitoring Device	Camera module
Controller	Arduino Nano microcontroller
Communication	GSM module
Detection Method	AI image recognition
Alert Mechanism	SMS notification and buzzer

References

1. Jiang, Y. Facial recognition access control system using deep learning techniques / Y. Jiang, L. Wang, H. Zhang [et al.] // Pattern Recognition Letters. – 2018. – Vol. 115. – P. 55–62.
2. Tan, W. Privacy considerations in facial recognition applications / W. Tan, S. Chen, J. Li [et al.] // ACM Transactions on Privacy and Security. – 2020. – Vol. 23, № 3. – Article 15. – P. 1–24.
3. VDI 2206. Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme = Design methodology for mechatronic systems. – Berlin: Beuth Verlag, 2004. – 118 p.

UDC 681

ASSET MANAGEMENT SYSTEM FOR PHARMACEUTICAL DELIVERY TRUCKS

Hazel Makuwa, Lisani Ndlovu

Kudzai B. Chimonyo

Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

In Zimbabwe pharmaceutical companies face significant challenges due to inadequate tracking systems, inventory management systems are still manual and they have limited visibility in their delivery operations leading to delayed delivery or loss of some medicines. This project focusses on the the design and development of an IoT-based Asset Management System for pharmaceutical delivery trucks, aimed at enhancing real-time visibility, security, and efficiency in the pharmaceutical supply chain. The system integrates Global Positioning System (GPS) and Radio Frequency Identification (RFID) technologies with an ESP32 microcontroller to enable real-time tracking of delivery vehicles and automated monitoring of pharmaceutical inventory. The Global Positioning System (GPS) module provides specific and continuous coordinates to show the geographical location of the delivery truck. This is visualized on an interactive map that is embedded in a web application. RFID tags are attached to medicine packages and they are scanned during loading and unloading, automatically updating the status of the order in a MySQL database. The system has a web-based interactive interface developed using HTML, CSS, and JavaScript which allows clients to register, place their orders as well as monitor shipment progress by tracking the live location of the shipment.

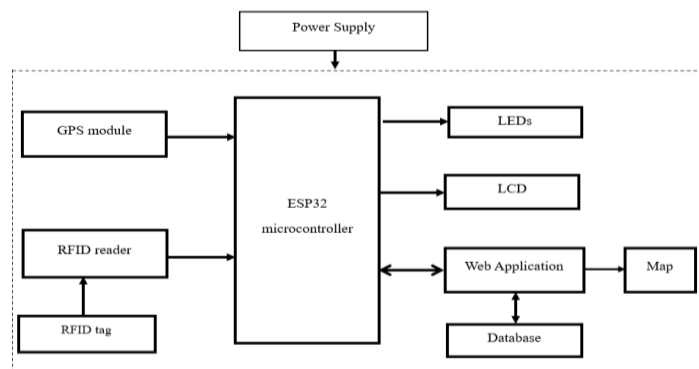


Fig. 1. System Block Diagram

The system has visual indicators using LEDs and an LCD display to provide local feedback when ever we scan our order. Test results show successful communication between the hardware components and the web based application, with the ESP32 microcontroller reliably transmitting GPS coordinates and RFID tag scan the data to the server. The database effectively stores client information, order details, and geographic location data, enabling comprehensive record-keeping and real-time updates. Despite challenges such as GPS signal acquisition in indoor environments and ESP32 compatibility limited to 2.4 GHz Wi-Fi networks, the system achieved its core objectives of real-time tracking, inventory monitoring, and user-friendly shipment management. This asset management system offers a scalable and cost-effective solution for improving pharmaceutical delivery accountability, reducing theft and delays, and enhancing overall supply chain reliability in Zimbabwe's healthcare sector.

References

1. Kumar, V. IoT in pharmaceutical logistics: A systematic review / V. Kumar // International Journal of Supply Chain Management. – 2022. – Vol. 9, № 4. – P. 254–267.
2. Mugwagwa, M. Challenges in pharmaceutical logistics in Zimbabwe: A case study of public healthcare supply chains / M. Mugwagwa // Zimbabwe Journal of Health Sciences. – 2019. – Vol. 8, № 3. – P. 67–81.
3. Zhang, J. S. IoT-based logistics systems for real-time tracking and monitoring of pharmaceutical products / J. S. Zhang // Journal of Global Supply Chain Management. – 2021. – Vol. 4, № 2. – P. 145–158.

UDC 681

DESIGN OF AN AUTOMATED CHICKEN FEEDER AND DRINKER SYSTEM WITH A BROODER TEMPERATURE MONITOR

Mangudhla T.

Eng. Makusha D.

Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

The poultry industry plays a vital role in Zimbabwe's food security and economic development, yet small-scale and commercial farmers continue to face challenges such as high chick mortality, disease outbreaks, and labour inefficiencies due to reliance on manual feeding and environmental temperature monitoring methods (Gilongos, 2024). This design project focuses on the design and development of an automated chicken feeder and drinker system with an integrated coop temperature monitor, aimed at optimizing poultry production through real-time sensing and control.

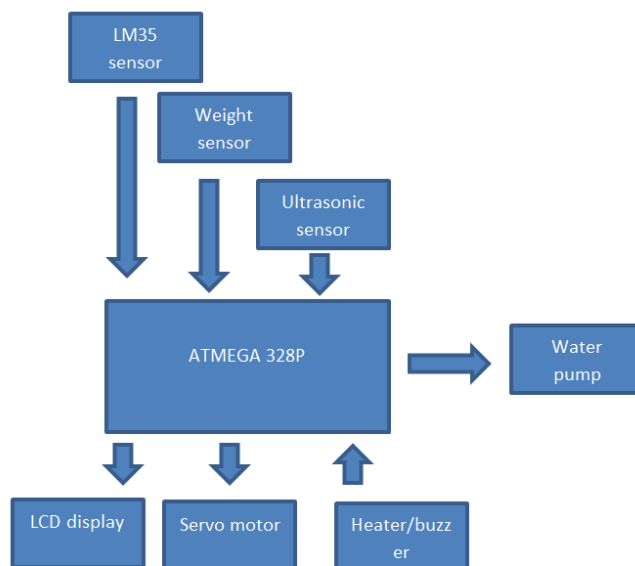


Fig. 1. Block diagram

The system is built around a ATMEGA 328P microcontroller, which interfaces one load cell to measure the change in the weight of feed, one ultrasonic sensor to measure the change in water level, and an LM35 sensor to monitor temperature fluctuations within the coop. When feed or water levels go below preset points, a trap door is opened to refill the feed tank and a water pump is turned on to refill

the water tank (Soh, 2017). When temperatures go below preset values, heating system is turned on, or if charcoal is being used a buzzer is turned on to indicate a drop in temperature, if they go above preset values, the entire heating system is turned off. A 16 × 4 LCD provides real-time status updates on feed levels, water levels, and coop temperature. The system reduces human entry into the coop, thereby improving biosecurity, while ensuring that chicks receive adequate warmth during brooding, which improves chicken production.

References

1. Gilongos, A. G. Automated Chicken Feeder and Counter Using Yolov4 Algorithm [Preprint] / A. G. Gilongos, J. Ponpon, J. Reyes // Preprints.org. – 2024. – 3 January. – URL: <https://doi.org/10.20944/preprints202401.0175.v1> (date of access: 19.03.2026).
2. Development of automatic chicken feeder using Arduino Uno / Z. H. C. Soh, M. H. Ismail, F. H. Otthaman [et al.] // 2017 International Conference on Electrical, Electronics and System Engineering (ICEESE), Kanazawa, 9–10 November 2017. – Piscataway: IEEE, 2017. – P. 120–124.

UDC 681

AN AUTONOMOUS IOT-BASED FRAMEWORK FOR REAL-TIME POWERLINE THEFT AND FAULT DETECTION

Masarira M. F.²

Simango D.¹, Musiiwa P. B.²

¹Chinhoyi University of Technology, Chinhoyi, Zimbabwe

²Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

The reliability of electrical power distribution systems is critical for modern economic and social development. However, electricity theft and undetected faults remain major challenges in many developing countries, including Zimbabwe. Illegal connections, equipment vandalism and technical failures often result in financial losses for utility companies, unstable power supply and safety risks for consumers. Traditional monitoring approaches such as manual inspections and basic protection relays are slow and ineffective for real-time detection and accurate localization of such incidents. This study proposes an autonomous Internet of Things (IoT) based monitoring framework for real-time detection of powerline faults and electricity theft. The system integrates vibration sensors, current and voltage sensors with an ESP32 microcontroller for continuous monitoring of electrical and mechanical disturbances along distribution lines. A GPS module provides precise geolocation of detected anomalies, while a GSM communication module enables instant transmission of alerts to power utility personnel. Sensor data are also transmitted to a cloud-based IoT platform (ThingSpeak) for visualization, storage and analysis. The proposed architecture allows simultaneous detection of electrical faults such as overcurrent, undervoltage and abnormal load conditions, as well as physical tampering or vandalism of power infrastructure. The system was designed and validated through circuit simulation and IoT integration, demonstrating the capability to identify abnormal operating conditions and trigger real-time alerts with location information. This significantly reduces fault response time and improves the efficiency of maintenance operations. The results indicate that integrating IoT sensors, microcontrollers and cloud platforms provides a cost-effective solution for improving powerline monitoring in developing power networks. The system supports predictive maintenance through historical data analysis and can be scaled to multiple monitoring nodes across large distribution networks. Implementation of such smart monitoring frameworks can contribute to improved grid stability, reduced power losses and enhanced energy security.

References

1. Glauner, P. The Challenge of Non-Technical Loss Detection using Artificial Intelligence: A Survey / P. Glauner, J. A. Meira, P. Valtchev [et al.] // International Journal of Computational Intelligence Systems. – 2017. – Vol. 10, № 1. – P. 760–775.
2. Nguyen, B. Spatial-Temporal Recurrent Graph Neural Networks for Fault Diagnostics in Power Distribution Systems / B. Nguyen, T. Vu, T.-T. Nguyen, M. Panwar. – 2022. – 27 October. – URL: <https://arxiv.org/abs/2210.15177> (date of access: 19.03.2026).
3. Musungwini, S. A framework for monitoring electricity theft in Zimbabwe using mobile technologies / S. Musungwini // Journal of Systems Integration. – 2016. – Vol. 7, № 3. – P. 54–65.

UDC 681

DEVELOPMENT OF A SEMI-AUTOMATED SMART PARCEL COUNTER SYSTEM

Vimbai Ngulube

Winnie Mutenhabundo

Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

The retail sector in Zimbabwe faces significant challenges in its parcel check-in systems, which remain reliant on manual processes that create inefficiencies, security risks, and ergonomic concerns. This study aims to address these issues by designing a semi-automated smart parcel counter system for supermarkets, using locally engineered solutions. The system integrates a mechanical locker structure, microcontroller-based access control, and locally available materials to improve operational efficiency, enhance security, and reduce the ergonomic burden on staff. The project focuses on designing a durable locker system that ensures seamless locker allocation and secure storage, while providing a modern and efficient alternative to the traditional manual method. The developed prototype aims to minimize customer waiting times, reduce liability risks, and promote the use of locally sourced materials, contributing to Zimbabwe's engineering and manufacturing sector. This approach addresses the need for cost-effective, locally made automation solutions suitable for Zimbabwean supermarkets, which are currently constrained by the high costs of imported smart-locker systems. The research explores design, technical feasibility, and cost-effectiveness, with potential applications to improve the customer experience and operational safety.

UDC 796.8

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIFFERENCES IN FLEXIBILITY TRAINING BETWEEN CHINESE WRESTLING AND OTHER COMBAT SPORTS FROM A CROSS-CULTURAL PERSPECTIVE

Master's Student gr. 51313325 Xu Xin Rong

PhD, Associate Professor Kovel S. G., PhD, Associate Professor Svistun A. I.,

PhD, Associate Professor Varabei R. I.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Flexibility is a key physical quality for combat sports athletes, directly impacting the quality of technical performance and reducing the risk of sports injuries. The technical characteristics and cultural context of different sports significantly influence flexibility training regimens.

The aim of this study was to identify cross-cultural differences among athletes practicing Chinese wrestling, taekwondo, judo, and boxing, and the unique aspects of flexibility training in Chinese wrestling.

The study involved 20 elite athletes from each of the four sports, with over five years of training experience and an average age of 22.

A literature review to systematize training systems, combined with range-of-motion testing and statistical analysis of training methods, were used to compare and analyze the key differences in flexibility training. The data show that Chinese-style wrestlers exhibit superior hip, shoulder, and spine flexibility (Table 1).

Table 1 – Comparison of core flexibility indicators among athletes of four sports ($\bar{x} \pm \sigma$)

Sport	Hip ROM	Shoulder ROM	pine Flexibility
Chinese-style wrestling	135.2 $\pm$ 5.8	170.5 $\pm$ 4.3	85.6 $\pm$ 3.2
Taekwondo	140.8 $\pm$ 4.6	155.3 $\pm$ 5.1	75.2 $\pm$ 4.1
Judo	128.7 $\pm$ 6.	165.4 $\pm$ 4.8	82.1 $\pm$ 3.5
Boxing	115.4 $\pm$ 7.2	175.1 $\pm$ 3.9	78.3 $\pm$ 3.8

In terms of training methods, flexibility training for Chinese-style wrestling adopts a combined model of "static stretching + dynamic coordination + technical integration", accounting for 40 %, 35 %, and 25 % respectively. Taekwondo focuses on explosive lower limb stretching, accounting for 65 %,

emphasizing the flexibility support for kicking movements. Judo focuses on joint flexibility and control ability training, with static stretching accounting for more than 50 %. Boxing takes core and upper limb dynamic stretching as the core, adapting to technical movements such as straight punches and hooks. This difference stems from the technical system and cultural characteristics of each sport.

In conclusion, flexibility training for Chinese-style wrestling is characterized by "whole-body coordination, technical integration, and balanced cycle", with comprehensive and balanced flexibility indicators. The training of taekwondo, judo, and boxing focuses on the special flexibility of lower limbs, joints, and upper limbs respectively. Cross-cultural comparison provides a theoretical basis for the optimization of flexibility training in Chinese-style wrestling. In the future, it is necessary to further strengthen the personalized training design combined with the characteristics of the sport to improve the scientificity and targeted nature of training.

UDC 615.825

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN MUSCLE INJURY PREVENTION AND REHABILITATION INTERVENTION FOR WRESTLERS DURING RECOVERY TRAINING

Master's Student gr. 51313325 Xu Xin Rong

PhD, Associate Professor Varabei R. I., PhD, Associate Professor Svistun A. I.,

PhD, Associate Professor Kovel S. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Wrestling is a high-intensity combat sport characterized by frequent explosive movements and long-term static muscle loading, which leads to a high incidence of muscle injuries such as acute strains and chronic tendinopathies in recovery training. Traditional prevention and rehabilitation methods rely on manual experience and subjective evaluation, lacking real-time monitoring and personalized intervention. In recent years, digital technologies including wearable sensors, artificial intelligence (AI), and virtual reality have provided innovative solutions for muscle health management in wrestlers, enabling accurate injury prediction, standardized rehabilitation, and objective effect evaluation. This paper explores the integrated application of these technologies in muscle injury prevention and rehabilitation for wrestlers, aiming to improve training safety and recovery efficiency.

Wearable inertial measurement units and surface electromyography sensors enable real-time monitoring of muscle load and movement patterns. These devices collect kinematic and kinetic data and transmit them to an AI platform for analysis. The AI model can predict muscle strain events 6–24 hours in advance with 90 % accuracy, effectively reducing acute injury incidence. 3D motion capture technology records the biomechanical characteristics of wrestling movements, simulating muscle and joint stress distribution to correct unreasonable postures and formulate personalized prevention plans, avoiding excessive load on specific muscle groups. In rehabilitation intervention, digital technologies achieve intelligent and personalized training regulation. AI-powered rehabilitation robots adjust training intensity based on real-time muscle status monitoring, increasing the range of motion of affected joints by 40.2 % within 12 weeks for wrestlers with knee and waist injuries. VR rehabilitation creates immersive scenarios, improving rehabilitation compliance by 35 % and shortening the recovery cycle by 25 % compared with traditional methods. Electromyography-guided neuromuscular electrical stimulation promotes blood circulation and muscle fiber repair, accelerating the clearance of lactic acid.

To verify the effectiveness of digital technologies, a controlled trial was conducted on 60 male wrestlers with a mean age of 22.3 ± 2.1 years. The experimental group adopted digital technology-assisted rehabilitation, while the control group used traditional methods. After 8 weeks of intervention, the comparison of rehabilitation effects between the two groups showed that in the experimental group had a muscle injury incidence of 13.3 %, 60 % lower than the control group; the average recovery time was 12.5 days, 28 % shorter than the control group; and the muscle strength recovery rate reached 85.6 %, 25.3 % higher than the control group. These data fully confirm that digital technology can effectively reduce muscle injury risk and accelerate rehabilitation speed.

In conclusion, digital technologies build a closed-loop system for wrestlers' muscle health, overcoming the limitations of traditional methods. With technological iteration, digital health will play a more important role in ensuring training safety. Future research will focus on multi-modal data integration and low-cost equipment development to meet grassroots training needs.

UDC 681

A DES FRAMEWORK INFORMED BY ML INSIGHTS FOR OPTIMIZING FAULT DETECTION AND REPAIR RESPONSE TIME TO MITIGATE REVENUE LEAKAGE IN ZIMBABWEAN INTERNET SERVICE PROVIDERS

Master's student Tafadzwa Ziduche

Mupfumira P.

Harare Institute of Technology, Harare, Zimbabwe

This research weighs the existing reactive strategies employed by Internet Service Providers (ISPs) in Zimbabwe against the adoption of global machine learning (ML) advancements in telecommunications fault management. An international study conducted from 2020 to 2025 shows that predictive maintenance based on machine learning cuts detection delays by 30–50 % and operational costs by up to 40 % [1, 2]. On the other hand, Zimbabwean Internet Service Providers (ISPs) still work reactively. They find 70 % of problems through customer reports, which means it takes 8 to 12 hours to fix them and costs the company \$ 15 to \$ 20 million a year in lost income [3]. Existing gaps are addressed by developing a decision support framework utilizing discrete-event simulation (DES) that methodically translates global machine learning insights into operational parameters tailored to the specific constraints of Zimbabwe. This framework is not just about using ML algorithms. It uses information from current ML research to help set up the simulation inputs, leading to the question, "What would happen to Zimbabwean ISPs' operations and finances if they got detection improvements similar to those seen in international ML research?" The method involves three steps: extracting detection parameters from machine learning literature to establish a 30 % improvement benchmark, creating a DES model that incorporates queueing theory, reliability engineering, and Zimbabwean constraints, and testing this model under various scenarios using Monte Carlo simulation. The simulation evaluates five strategies: baseline reactive maintenance, machine learning-informed detection, revenue-based prioritization, Total Quality Management (TQM), and an integrated strategy. The basic formula for revenue leakage (RL) is:

$$RL = \gamma \lambda \cdot T \cdot MTTR, \quad (1)$$

where γ is the revenue rate, λ is the fault arrival rate, and T is the time period.

Using machine learning for leak detection reduces annual income loss by 26.6 % (\$1.14 million) and with a comprehensive approach, it reduces leakage by 73.8 % (\$ 3.16 million). Statistical variations were significant (ANOVA $F(4,145) = 32.76$, $p < 0.001$). Investments yield a 142 % ROI and a 9-month payback period, even with a 20 % enhancement, as per sensitivity analysis. The study presents a framework for applying machine learning in telecommunications in developing economies, a methodological template for low-data contexts, and an implementation roadmap for Internet Service Providers in Zimbabwe.

References

1. Alipio, M. A Systematic Literature Review on Machine Learning for Network Reliability in Telecommunications Industry / M. Alipio, M. Bures // IEEE Access. – 2025. – Vol. 13. – P. 201098–201124.
2. Muratbegović, A. Predictive Maintenance in the Era of Artificial Intelligence / A. Muratbegović, G. Popović // Nauka i Tehnologija. – 2025. – Vol. 15, № 2. – P. 45–58.
3. Moyo, P. Operational challenges in Zimbabwean telecommunications / P. Moyo, S. Dube // African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. – 2021. – Vol. 13, № 5. – P. 567–582.
4. Ebeling, C. E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering / C. E. Ebeling. – 3rd ed. – Long Grove: Waveland Press, 2019. – 570 p.

УДК 531.383

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАЧАЛЬНОЙ ВЫСТАВКИ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ

Студент гр. 120831 Агапов М. Э.

Кандидат техн. наук, доцент Каликанов А. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

В настоящее время актуальность бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) обусловлена высокой востребованностью в автономных подвижных объектах различного базирования. Современные БИНС должны обеспечивать высокую точность, автономность, надежность и компактность. В работе рассматривается решение задачи по

начальной выставке БИНС, заключающейся в определении трех углов ориентации: рыскания ψ_0 (курса K), тангажа ε_0 , и крена γ_0 .

Исследуется автономный алгоритм выставки (то есть без использования информации от других систем), основанный на методе *Triaxial Attitude Determination (TRIAD)* [1], который является методом векторного согласования двух троек единичных взаимно ортогональных векторов. Благодаря им, составляются две матрицы, переход от одной к другой будет характеризоваться матрицей направляющих косинусов, из которой и находятся необходимые углы.

Первоначально задаются два известных вектора сил. Это векторы ускорения свободного падения $\vec{g}$, который всегда перпендикулярен плоскости горизонта, и угловой скорости вращения земли $\vec{U}$, имеющий две проекции: горизонтальную и вертикальную. Далее проводится нормализация, то есть приведения векторов к единичной длине. Создаются три взаимно ортогональных вектора, формирующих начальную систему координат: в качестве первого вектора оставляем $\vec{g}_\Gamma$, второй вектор e_Γ получаем благодаря векторному произведению $\vec{g}_\Gamma$ и $\vec{U}_\Gamma$, третий вектор r_Γ – благодаря векторному произведению $\vec{g}_\Gamma$ и e_Γ .

Теперь необходимо сформировать два вектора на основе полученных с БИНС данных о его текущем местоположении. Эти вектора будут иметь вид:

$$\vec{a} = [\vec{a}_x \vec{a}_y \vec{a}_z]^T, \vec{b} = [\vec{b}_x \vec{b}_y \vec{b}_z]^T. \quad (1)$$

Аналогичным образом создадим тройку взаимно ортогональных векторов: первым шагом нормализация, вторым получение вектора e с помощью векторного произведения $\vec{a}$ и $\vec{b}$, и вектора r с помощью векторного произведения $\vec{a}$ и e .

Исходя из полученных результатов, матрица направляющих косинусов будет иметь вид:

$$A = \begin{pmatrix} \vec{a}_x & e_x & r_x \\ \vec{a}_y & e_y & r_y \\ \vec{a}_z & e_z & r_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{g}_{x\Gamma} & e_{x\Gamma} & r_{x\Gamma} \\ \vec{g}_{y\Gamma} & e_{y\Gamma} & r_{y\Gamma} \\ \vec{g}_{z\Gamma} & e_{z\Gamma} & r_{z\Gamma} \end{pmatrix}^T. \quad (2)$$

После вычисления (2), необходимые углы могут быть найдены как:

$$\psi = \arctan 2(A_{13}, A_{31}), \vartheta = \arctan \left(\frac{A_{12}}{\sqrt{A_{22}^2 + A_{32}^2}} \right), \gamma = \arctan 2(A_{32}, A_{22}). \quad (3)$$

Математическая реализация подтверждения работоспособности проводилась в среде моделирования *MATLAB*. Исследованный алгоритм является простым, понятным и быстрым ввиду отсутствия сложных математических операций и простой аналитической интерпретируемости.

Литература

1. Матвеев, В. В. Метод TRIAD для решения задач ориентации / В. В. Матвеев, А. В. Каликанов, А. Н. Хомячкова // XXXII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам: Сборник материалов конференции, Санкт-Петербург, 03–04 июня 2025 года. – СПб: АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электронприбор», 2025. – С. 247–250.

УДК 621.396.6

МОБИЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР КАЧЕСТВА МОЛОКА

Студент гр. 11303124 Бань Н. А.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В последние десятилетия в пищевой индустрии отчетливо проявляется переход от традиционного лабораторного контроля к экспресс-диагностике непосредственно на точках сбора и переработки сырья. Для молочной отрасли, играющей стратегическую роль в продовольственной безопасности, особую значимость приобретают средства оперативного и достоверного анализа сырья вне стен стационарных лабораторий. Существующая практика, основанная на использо-

вании сложного и дорогостоящего оборудования, зачастую недоступна для малых сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. Кроме того, временная задержка между забором пробы и получением результата является критическим фактором для скоропортящейся продукции. В этой связи разработка портативного анализатора, сочетающего доступность, точность и простоту эксплуатации, становится необходимым условием для обеспечения сквозного контроля качества и безопасности молочной продукции на всем пути от фермы до переработчика [1].

Целью данной работы является обоснование концепции и определение технического облика мобильного анализатора качества молока, предназначенного для экспресс-оценки широкого спектра физико-химических и микробиологических показателей в полевых условиях.

На рис. 1 представлены наиболее распространенные конструкции анализаторов качества молока. Стационарные инфракрасные анализаторы (FOSS MilkoScan) обеспечивают высокую точность и многообразие параметров, однако их высокая стоимость, требования к условиям эксплуатации и отсутствие портативности ограничивают применение вне лабораторий. Портативные ультразвуковые анализаторы компактны и доступны, но их точность чувствительна к температуре и однородности среды, а диапазон измеряемых показателей ограничен основными макрокомпонентами [2]. Микробиологические экспресс-тесты просты и не требуют оборудования, однако являются одноразовыми и дают лишь качественную или полуколичественную оценку без полноты состава. Инновационная система VibMilk, использующая датчики смартфона, демонстрирует высокую точность при определении свежести, но не позволяет измерять содержание жира или белка. Портативные NIR-спектрометры способны определять химический состав, однако их точность зависит от калибровочных моделей, а стоимость остается высокой для массового внедрения [3]. Таким образом, ни одно из существующих решений не обеспечивает комплексной оценки молока, сочетающей универсальность, точность и доступность.

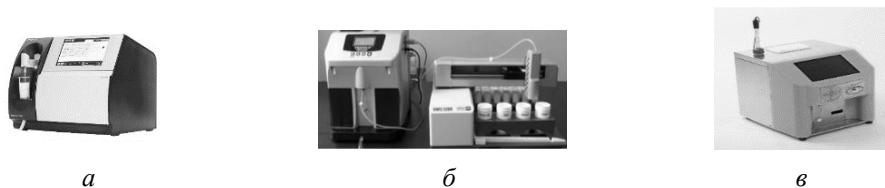


Рис. 1. Аналоги анализаторов качества молока: FOSS MilkoScan (а); VibMilk (б); SCiO (в)

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд научно-технических задач. Прежде всего, требуется разработать конструкцию защитного корпуса прибора, оптимизировать виды конструкционных материалов для обеспечения функционирования прибора в заданных условиях; обосновать выбор сенсорных технологий, обеспечивающих измерение заданных показателей. Разработать программное обеспечение с интуитивным интерфейсом и беспроводной передачи данных, а также проведение испытаний опытного образца для оценки его метрологических характеристик в реальных условиях.

Литература

1. Крусъ, Г. Н. Методы исследования молока и молочных продуктов / Г. Н. Крусъ, А. М. Шалыгина, З. В. Волокитина. – М.: КолосС, 2012. – 368 с.
2. Савостина, Т. В. Ветеринарно-санитарная экспертиза молока и молочных продуктов: учебник для вузов / Т. В. Савостина. – СПб.: Лань, 2021. – 188 с.
3. Оптическая спектральная диагностика молока: монография / А. Ю. Измайлов, А. С. Дорохов, М. В. Беляков [и др.]; Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. – М.: Универсум, 2024. – 126 с.

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА МОЩНЫХ RGBWY СВЕТОДИОДОВ

Студенты гр. 11303124 Бань Н. А., Кулик У. С., Павловская М. А.,
студент гр. 11301124 Белещук Ю. А.

Ст. преподаватель Микитевич В. А., д-р техн. наук, профессор Гусев О. К.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Сегодня широко применяются светодиодные источники света. Особенно широко применяются цветные светодиоды для декоративного освещения. Основное преимущество светодиодов – большой срок службы. Однако на практике светодиодные светильники выходят из строя намного быстрее. Это связано с завышением заявленной мощности светодиодов производителем, что

приводит к перегреву и преждевременному выходу из строя. Поэтому необходимо предварительно проводить исследование температуры кристаллов светодиодов в разных режимах работы. Было проведено исследование двух многокристалльных светодиодов OTdiode мощностью 100Вт. Заявленные производителем характеристики приведены в таблице 1. Светодиод был закреплен на алюминиевый радиатор площадью 920 см² с применением теплопроводящей пасты КПТ-8. Радиатор принудительно обдувался вентилятором. Светодиод был подключен к стабилизированному блоку питания GPD-72303S в режиме стабилизации тока. Измерение температуры кристаллов выполнялось тепловизором UTi721M (погрешность измерения тепловизора ± 2 °C). Результаты измерения приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики RGBWY светодиода OTdiode

Цвет	Падение напряжения, В	Ток, А	Световой поток, Лм	Размер кристалла, мил
Красный	20...22	0,7	900...1200	42 × 42
Зеленый	30...32	0,7	1000...1200	45 × 45
Синий	31...32	0,7	2000...2100	45 × 45
Белый	30...32	0,7	2000...2100	45 × 45
Желтый	20...22	0,7	1600...1800	42 × 42

Таблица 2 – Результаты измерений

Номер измерения	Цвет	Падение напряжения, В	Ток, мА	Температура кристалла, °C	Суммарная мощность, Вт
1	Желтый	24,8	760	73	59
	Зеленый	27,4	680	62	
	Синий	29,4	730	70	
2	Белый	30,1	700	77	61
	Желтый	24,8	760	71	
	Синий	29,4	730	62	
3	Белый	30,1	700	45	39
	Красный	25,1	695	62	
4	Белый	30,1	700	66	40
	Желтый	24,8	760	56	
5	Синий	29,4	730	58	40
	Зеленый	27,4	680	56	

В качестве критерия для обеспечения длительного срока службы принята температура не более 70 °C [1]. Основываясь на результатах измерения сделан вывод: максимальная мощность, которую может передать корпус светодиода радиатору без перегрева кристаллов, составляет 40 Вт. Это означает, что при включении разных групп цветов светодиода в различном сочетании их суммарная мощность не должна превышать 40 Вт, а для каждого цвета, ток не должен превышать 0,7 А.

Результаты исследования позволят в дальнейшем подобрать оптимальные режимы управления светодиодом и выполнить расчет схемы стабилизатора тока для каждого из каналов светодиода.

Литература

1. The influence of junction temperature variation of LED on the lifetime estimation during accelerated aging test / X. X. Wang, Y. Zhang, L. Chen [et al.] // IEEE Access. – 2018. – Vol. 7. – P. 4773–4781.

УДК 679.746.226

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ФОТОГРАММЕТРИИ С БОРТА БПЛА

Студент гр. 11308125 Беляков Ф. А.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

БПЛА-фотограмметрия (SfM/MVS) позволяет бесконтактно получать 3D-модели промышленных объектов (резервуары, фасады, эстакады, отвалы) и измерять габариты, отклонения формы и объемы. Точность результата определяется не только разрешением снимков, но и геометрией съемки, качеством привязки и корректной валидацией по независимым контрольным точкам.

Для инженерного контроля важно обеспечить метрическую пригодность модели: стабильный масштаб, отсутствие систематических деформаций (например, «волнообразных» фасадов или

«банана» на протяженных объектах), а также воспроизводимость при повторной обработке/повторных вылетах. Поэтому требуется регламент: цель измерений, допуски, схема опорных и контрольных точек, правила съемки и критерии качества.

Ключевые источники погрешности геометрических параметров возникают из: (а) слабой геометрии фотосети (только надир на вертикальных объектах), (б) некорректной калибровки/самокалибровки камеры и корреляции параметров, (в) недостаточной или ошибочной геодезической привязки, (г) смаза, шума и бликов, ухудшающих сопоставление ключевых точек, (д) ошибок плотной реконструкции и фильтрации облака точек.

Усиление геометрии съемки имеет большое значение для повышения точности бесконтактного контроля геометрических параметров объектов. Наибольший практический эффект для промышленных объектов дает сочетание надирной и наклонной съемки: наклонные проходы и/или орбиты вокруг объекта на нескольких высотах повышают «жесткость» сети и улучшают реконструкцию вертикальных поверхностей и ребер. Для протяженных объектов полезны «связующие» диагональные маршруты, уменьшающие риск систематических деформаций.

Привязка и контроль осуществляется через RTK/PPK, GCP и check points. RTK/PPK, что снижает зависимость от большого числа наземных опорных точек, но для инженерных задач рекомендуется добавлять опорные точки (GCP) для подавления систематик и обязательно выделять независимые контрольные точки (check points) для честной оценки точности. Контрольные точки распределяют по краям зоны и по высоте (особенно для фасадов/резервуаров), иначе вертикальная составляющая и наклоны могут оцениваться нестабильно.

Параметры съемки и качество кадров важны, так как для точности параметров критичны резкость и стабильность: короткая выдержка (борьба со смазом), умеренный ISO (минимизация шума), по возможности фиксированный фокус/экспозиция, плавные маневры (особенно при роллинг-шаттер). Время съемки выбирают так, чтобы уменьшить блики на металле и стекле (рассеянный свет), а проблемные зоны усиливают дополнительными ракурсами и маркерами.

Обработка и метрологическая валидация + это действия, которые контролируют остаточные невязки на GCP, ошибки на check points и пространственное распределение ошибок (часто ухудшение на краях указывает на слабую геометрию). Для измерений важно аккуратно фильтровать выбросы, не «съедая» грани и ребра, и по возможности сравнивать ключевые сечения/размеры с независимой геодезией или лазерным сканированием на контрольных участках [1].

В результате суммирования всех перечисленных особенностей получаем, что повышение точности БПЛА-фотограмметрии достигается комплексом мер: усиленная геометрия сети (наклонная + надирная съемка, многоуровневые проходы); грамотная привязка (RTK/PPK + разумный набор GCP); обязательная проверка по независимым контрольным точкам; дисциплина качества кадров и корректная обработка.

Такой регламент делает фотограмметрию пригодной для инженерного контроля геометрии промышленных объектов и мониторинга деформаций во времени. БПЛА становятся инструментом, средством измерения аналогично тахеометру, лазерному сканеру. Применение БПЛА-технологий позволяет оперативно получать качественную, объективную информацию для повышения точности бесконтактного контроля геометрических параметров объектов в современных экономических условиях.

Литература

1. Современная цифровая фотограмметрия / И. А. Хабарова, Д. С. Валиев, В. А. Чугунов // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2019. – № 4 (2). – С. 43.

УДК 629.05

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Аспирант гр. аПУ/2.3.1-24 Бехлер И. А.

Д-р техн. наук Матвеев В. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Развитие техники и технологий, удешевление и миниатюризация компонентной базы привели к повсеместному внедрению робототехнических платформ воздушного базирования (РТП ВБ). Одновременно усложняются условия (например, интенсификация искусственных помех),

в которых они должны выполнять поставленные задачи, в связи с чем актуализируется задача обеспечения более точной и помехозащищенной автономной навигации РТП ВБ.

Традиционно навигация РТП ВБ осуществляется посредством комплексирования каналов бесплатформенной инерциальной навигационной системы и спутниковой навигационной системы [1]. В условиях, когда спутниковый навигационный сигнал подвержен различным помехам, используются альтернативные методы навигации, например, применяются визуальные навигационные системы (ВНС) [2].

Облик ВНС представляет собой интегрированный модуль, конструктивно объединяющий оптико-электронную систему и вычислительное устройство в едином корпусе [3]. В ряде реализаций в его состав также включается инерциально-измерительный модуль, построенный на базе микроэлектромеханических датчиков и предназначенный для оценки угловых скоростей, линейных ускорений и вектора магнитной индукции. Полученные измерения используются для комплексирования визуальной и инерциальной подсистем в составе единой навигационной системы, которое обеспечивает повышение точности и устойчивости оценки пространственного положения и ориентации объекта за счет взаимной компенсации погрешностей отдельных каналов; такие системы также называют визуально-инерциальные навигационные системы (ВИНС).

Оптико-электронная система ВНС может включать телевизионные камеры видимого и ближнего инфракрасного диапазонов, неохлаждаемые тепловизионные камеры дальнего инфракрасного диапазона, лазерные дальномеры, лидары, инфракрасные датчики глубины и иные датчики, обеспечивающие получение пространственной и спектральной информации об окружающей среде. Конкретный состав сенсорного оборудования определяется условиями эксплуатации и требованиями к точности и помехоустойчивости навигации.

В качестве вычислительной платформы, как правило, применяются системы на кристалле, реализованные на архитектуре ARM, либо программируемые логические интегральные схемы. Данные платформы характеризуются высоким уровнем эффективности при ограниченном энергопотреблении, что позволяет реализовывать ресурсоемкие алгоритмы обработки изображений, визуальной одометрии, а также методы, основанные на технологиях искусственного интеллекта в режиме реального времени [4].

Проведенный анализ существующих ВНС/ВИНС РТП ВБ позволил выделить их следующие основные характеристики:

- рабочая высота полета – диапазон высот, в пределах которого обеспечивается корректное функционирование системы (для большинства систем от 200 до 2 000 м);
- точность определения навигационных параметров – параметр, зависящий от высоты полета и режима функционирования системы. Среднеквадратическое отклонение, как правило, нормируется относительно высоты полета при работе в режиме сопоставления с эталонными изображениями (картами местности). В одометрическом режиме точность характеризуется накопленной погрешностью, отнесенной к пройденному пути;
- максимальная скорость движения РТП ВБ – параметр, ограничиваемый динамическими характеристиками оптико-электронных датчиков, которые обладают большей постоянной времени по сравнению с инерциальными датчиками. Превышение допустимой скорости может приводить к снижению контрастности и четкости изображения, либо к ухудшению достоверности измерения дальности;
- актуальность эталонной базы данных – параметр, определяемый регионом эксплуатации РТП ВБ, сезонными и ландшафтными изменениями подстилающей поверхности; как правило, оценивается временным интервалом обновления данных и может исчисляться в годах;
- минимальная метеорологическая дальность видимости – характеризует условия прозрачности атмосферы, в которых обеспечивается устойчивая работа ВНС/ВИНС РТП ВБ. Оптические датчики чувствительны к воздействию тумана, дымки, осадков и иных атмосферных явлений; для обеспечения требуемой точности навигации, как правило, необходима метеорологическая дальность видимости не менее 5 км.

В работе сформирован облик типовых ВНС/ВИНС РТП ВБ, а также обобщены и систематизированы основные характеристики и требования, предъявляемые к таким системам.

Литература

1. Пешехонов, В. Г. Высокоточная навигация без использования информации глобальных навигационных спутниковых систем / В. Г. Пешехонов // Гироскопия и навигация. – 2022. – Т. 30, № 1 (116). – С. 3–11.
2. A review of UAV autonomous navigation in GPS-denied environments / Y. Chang, Y. Cheng, U. Manzoor, J. Murray // Robotics and Autonomous Systems. – 2023. – Vol. 170. – P. 104533.

3. Qin, Y. Application, Development and Countermeasures of Intelligent Navigation Technology in the Field of UAV / Y. Qin, L. Cheng // Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Public Management and Intelligent Society (PMIS 2023). – 2023. – P. 913–925.

4. Survey of UAV Visual Navigation Based on Monocular SLAM / W. Wei, Z. Zhang, S. Liu [et al.] // 2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC). – 2018. – P. 1849–1853.

УДК 681

ЕМКОСТНОЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОПЫТКИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЕ ИЛИ ДВЕРНЫЕ ПРОЕМЫ В СИСТЕМЕ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Студенты гр. 11301123 Бландинов А. С., Мандрик М. Л.

Ст. преподаватель Василевский А. Г., ст. преподаватель Третьяк И. Б.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы – повышение эффективности работы системы охранной сигнализации при попытке проникновения на охраняемый объект через оконные либо дверные проемы.

Подготовленный нарушитель для проникновения на охраняемый объект заранее производит работу по отключению, выкорачиванию, блокировке извещателей на окнах и дверях. Для предотвращения и усиления традиционных методов защиты, данных уязвимых архитектурно-строительных элементов объекта, предлагается дополнительная блокировка оконных и дверных проемов емкостными извещателями.

Существующие рекомендации по блокировке оконных и дверных проемов включают в себя магнитоконтактные извещатели, срабатывающие на открытие, акустические извещатели разбития стекла, инфракрасные объемные пассивные извещатели типа штора, блокирующие выем, пролом и последующее проникновение на объект.

Емкостные извещатели в сочетании с омическими датчиками могут произвести дополнительную блокировку оконных и дверных проемов за счет регистрации пространственных изменений объемных электрических параметров прилегающей воздушной среды, то есть изменения емкости датчик – земля.

Омические извещатели представляют собой конструкцию в виде контурной рамки из тонкого медного провода, либо алюминиевой фольги. Данную конструкцию можно использовать как чувствительный элемент охраны (антенну) и подключить его к генератору типа емкостная трехточка (генератор Колпитца). Приближение к антенне человека приводит к изменению частоты генератора, что и регистрирует извещатель. Структурная схема данного решения представлена на рисунке 1.

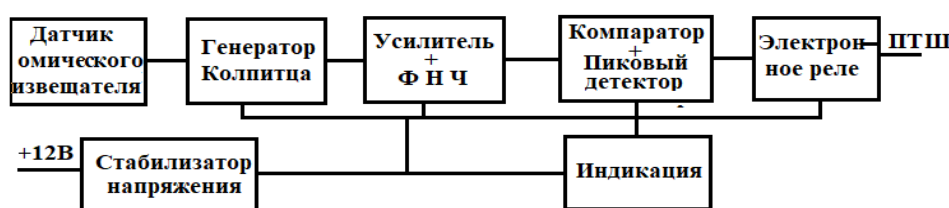


Рис. 1. Структурная схема подключения омического датчика к емкостному извещателю

Своевременное оперативное срабатывание емкостного извещателя при попытке проникновения на охраняемый объект через оконный либо дверной проем минимизирует материальный ущерб и гарантирует сохранение имущества. Устройство может быть настроено для работы на пониженный или повышенный уровень чувствительности (расстояния срабатывания извещателя). Сухие контакты реле могут быть подключены к шлейфам охранной сигнализации. Схема устройства, при необходимости дополняется световой и звуковой сигнализацией.

Литература

1. Шустов, М. А. Практическая схемотехника / М. А. Шустов. – М.: Альтекс-А, 2003. – Кн. 1. – 336 с.
2. РМ 78.36.001-99. Справочник инженерно-технических работников и электромонтеров технических средств охранно-пожарной сигнализации. – Введ. 01.01.1999. – М.: НИЦ «Охрана», 1999. – 287 с.

УДК 531.383

ВИЗУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Студент гр. 140841/02 (магистрант) Бланков Р. С.

Кандидат техн. наук Каликанов А. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Современные системы ориентации летательных аппаратов (ЛА) строятся на базе *MEMS*-датчиков обладают ограниченной точностью вследствие накопления интегральной погрешности и высокой чувствительности к внешним воздействиям. Поэтому актуальна становится задача поиска путей повышения точности таких систем. Одним из подходов к повышению точности, может быть, применение визуальных систем ориентации [1]. Которая обладает низкой конструктивной и вычислительной сложностью системы, технологической доступностью на базе стандартных камер потребительского класса, которым оснащаются ЛА.

Целью работы является разработка и исследование визуальной системы ориентации ЛА, определяющей углы крена и тангажа относительно лии горизонта. На рисунке 1 представлен алгоритм определения ориентации на основании обработки кадров в видеопотоке. Аналитические выражения позволяющие определить углы тангажа и крена, представлены ниже:

$$\gamma = -\arctg(k) = \arctg \frac{L_1 - L_2}{X}, \quad v = \arctg \left(\frac{b}{y} 2 \operatorname{tg} \omega \right). \quad (1)$$

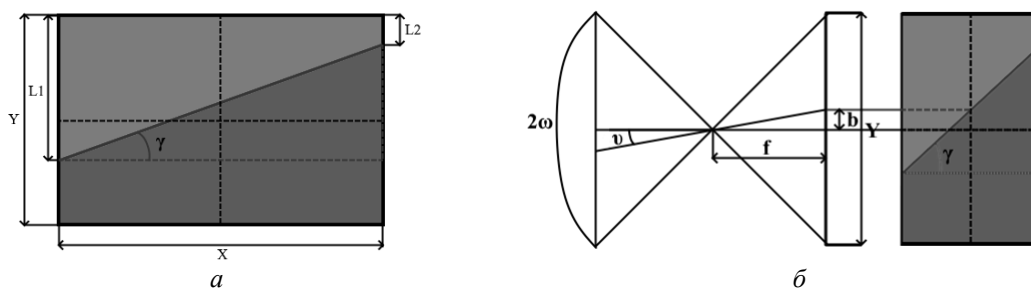


Рис. 1. Определение: угла крена (а); угла тангажа (б)

На основании аналитических выражений (1) алгоритм работы визуальной системы ориентации был разработан в среде *MATLAB*, реализующий предложенную методику обработки изображения с точки зрения математического аппарата.

На основе проведенного моделирования и экспериментов можно сформулировать следующие итоговые положения, подтверждающие выдвинутый тезис.

Подтверждение корректности математической модели. Верификация в среде *MATLAB* с использованием синтетических изображений показала высокую точность теоретических расчетов. Минимальные значения среднеквадратической ошибки ($0,0119^\circ$ по крену и $0,0317^\circ$ по тангажу) доказывают принципиальную работоспособность предложенного математического аппарата.

Оценка точности в условиях реальной сцены. Апробация алгоритма на натурных данных с мобильного устройства (с предварительной настройкой сегментации в *HSV*) подтвердила его применимость для реальных задач. Погрешность вычисления углов ориентации в данном режиме не превышала $1-2^\circ$, что является приемлемым показателем для практического использования.

Выявление ограничений и пути их преодоления. Основным узким местом реализации в среде *MATLAB* является низкая производительность (3,6 кадра/с). Однако данный недостаток не является критическим для предложенного подхода, так как успешно компенсируется путем смены среды разработки: использование *Visual Studio* и языка *Python* с библиотекой *OpenCV* позволяет значительно повысить скорость обработки [2].

Таким образом, совокупность полученных результатов доказывает перспективность применения визуальной системы ориентации ЛА.

Литература

1. Микросистемы ориентации / В. Я. Распопов, В. В. Матвеев, А. П. Шведов [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 10. – С. 239–261.
2. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман; пер. с англ. – 2-е изд. (эл.). – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 752 с.

УДК 681

ОБРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТОЛЩИНОМЕРАХ

Студент гр. 11312124 Бочило И. Н., студент гр. 11312124 Рожко А. В.

Ст. преподаватель Куклицкая А. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В Республике Беларусь много оборудования, которое требует наличие контрольно-измерительной техники для автоматизации производственных процессов, снижение брака и обеспечение безопасности.

Целью работы является анализ современных ультразвуковых толщиномеров на примере универсального ультразвукового толщиномера A1201.

Толщиномер A1201 создан для измерения толщин материалов в диапазоне от 1 до 300 мм. Используется для измерения котлов, стенок, сосудов, работающих под давлением, обшивок судов и других изделий из черных и цветных металлов, изделий из стекла.

Технические характеристики: диапазон рабочих температур от -30°C до $+55^{\circ}\text{C}$; пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений толщины (по стали), мм: $\pm(0,01 \cdot d + 0,1)$; имеет малые габариты с раздельно-совмещенным преобразователем со встроенным кабелем; диапазон устанавливаемых скоростей ультразвука, м/с: от 1 000 до 9 999; продолжительность непрерывной работы от полностью заряженного аккумулятора при нормальных климатических условиях: 40 часов; срок службы 5 лет.

Принцип работы: измерение времени двойного прохода ультразвуковых импульсов через объект контроля от одной поверхности до другой, пересчитываемое в значение толщины по известному значению скорости.



Рис. 1. Ультразвуковой толщиномер A1201

Следует отметить факторы влияющие на точность измерения: изменения скорости звука от точки к точке внутри материала, рассеивание звука, акустические свойства материала, состояние поверхности, непараллельность наружной и внутренней поверхности измеряемого материала, высокая чувствительность к углу наклона. Но, несмотря на это, ультразвуковой толщиномер A1201 является хорошим вариантом для точного измерения толщины объектов исследования и своевременного обнаружения коррозии и износа труб.

Литература

1. Толщиномер ультразвуковой A1201: руководство по эксплуатации / ООО «АКС». – М., 2024. – 32 с. – URL: https://acsys.ru/upload/AKS_adv_A1201_A4_ru_web.pdf (дата обращения: 23.02.2026).

УДК 550.83.015

КЛАССИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ТВЕРДОМ ПРОВОДНИКЕ

Студенты гр. 11312123 Борбат М. С., Ромашко Е. Д.

Д-р физ.-мат. наук, профессор Невдах В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Электрический ток – это направленное движение зарядов, характеризуемое такими параметрами как сила или величина тока и плотность тока. В твердом проводящем материала, обычно металлическом, электрический ток представляет собой поток электронов проводимости.

По определению, величина тока – это величина заряда q , пересекающего сечение S проводника в единицу времени

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (1)$$

а плотность тока – это ток через единичное сечение

$$j = \frac{i}{S}. \quad (2)$$

Если эти величины не меняются с течением времени, то ток считается постоянным.

Металлы обычно имеют микрокристаллическую структуру. В пределах одного микрокристаллика атомы металла расположены по любому направлению с дальним порядком – с одинаковым интервалом и образуют кристаллическую решетку. В узлах кристаллической решетки находятся положительно заряженные ионы, а валентные электроны атомов являются свободными и находятся в пространстве между узлами. Такой отдельный микрокристаллик является анизотропным материалом. В макрообъеме металлы состоят из хаотически ориентированных относительно друг друга микрокристалликов и поэтому являются изотропным материалом, физические свойства которого одинаковы по всем направлениям.

В отсутствие внешнего электрического поля металлический проводник находится при температуре окружающей среды. Его ионы совершают небольшие хаотические колебания в узлах кристаллической решетки, а свободные электроны совершают хаотическое тепловое движение между ними так, что через любое сечение проводника в единицу времени в обоих направлениях протекает одинаковый по величине заряд. В результате никаких токов, в привычном понимании, в проводнике нет, а плотность электронов одинакова по всему его объему. Но каждый отдельный движущийся на расстоянии свободного пробега электрон образует элементарный ток $i = edv/dt$, вокруг которого образуется вихревое магнитное поле. Так как при взаимодействии электрона с узлами решетки его движение неравномерное, то такой зависящий от времени ток создает зависящее от времени магнитное поле

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (3)$$

где H – напряженность магнитного поля; D – электрическая индукция.

По закону электромагнитной индукции переменное магнитное поле создает вихревое электрическое поле

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (4)$$

где E – напряженность электрического поля; B – магнитная индукция.

Вихревое электрическое поле приводит к появлению вихревого индукционного тока. Вокруг индукционного тока образуется свое вихревое магнитное поле. Так происходит образование переменного электромагнитного поля в металле. Таким образом, каждый неравномерно движущийся в металле свободный электрон создает вокруг себя переменное электромагнитное поле, которое распространяется в металле со скоростью

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}, \quad (5)$$

где c – скорость электромагнитных волн (света) в вакууме; ϵ и μ – относительные диэлектрическая и магнитная постоянные проводника соответственно, и воздействует на другие заряды.

Так как хаотически направленные элементарные токи создают хаотически направленные электромагнитные волны, то их воздействие на заряды внутри металла не меняет характер их хаотического теплового движения. Переменное электромагнитное поле также создают и колеблющиеся в узлах кристаллической решетки ионы металла. Электромагнитное поле, создаваемое хаотически колеблющимися ионами и неравномерно движущимися электронами, и является тепловым излучением твердого проводника. Оно находится как внутри материала, так и выходит с его поверхности в окружающее пространство в соответствии с законом Стефана-Больцмана.

Если такой металлический проводник включить в замкнутую цепь с источником постоянного напряжения, электродвижущая сила (Э.Д.С.) источника будет действовать на каждый из свободных электронов проводника в одном направлении вдоль проводника. Действие этой силы нару-

шит симметрию теплового хаотического движения электронов – одни электроны, векторы скоростей которых направлены в сторону действия внешней силы, станут двигаться быстрее, другие электроны, двигавшиеся в противоположном направлении, станут двигаться медленнее. В результате этого через любое поперечное сечение проводника в единицу времени уже будет протекать заряд, то есть по всей длине проводника возникнет направленное движение зарядов – появится электрический ток. Этот ток можно представить как поток электронов проводимости, пересекающих поперечное сечение проводника со скоростью дрейфа – разностью скоростей их движения в направлении действия Э.Д.С. источника и против ее действия. Величина возникшего тока определяется количеством электронов, участвующих в дрейфе, и скоростью дрейфа. Обе этих величины возрастают с увеличением Э.Д.С. источника. Следовательно, и величина тока в проводнике возрастает с ростом Э.Д.С. источника. Характер движения отдельных электронов, образующих ток, по проводнику остается неравномерным из-за их взаимодействия с ионами в узлах кристаллической решетки. Однако в целом, эти электроны уже не могут характеризоваться температурой проводника, так как их энергия зависит и от Э.Д.С. источника. Поэтому проводник с током уже не является равновесной системой, а электромагнитное излучение, создаваемое такими электронами, нельзя рассматривать как тепловое излучение.

Таким образом, в работе представлена классическая модель постоянного электрического тока в твердом проводнике, отличающаяся от привычных моделей [1–3]. Показано, что такой ток образуют дрейфующие с небольшой скоростью в проводнике под действием Э.Д.С. внешнего источника электроны проводимости. Взаимодействуя с ионами кристаллической решетки, электроны передают им часть своей кинетической энергии, увеличивая температуру проводника. А энергия источника по проводнику передается электромагнитным полем со скоростью распространения электромагнитных волн в нем, создаваемых нерегулярно двигающимися в проводнике зарядами. Электромагнитное излучение проводника с током не является тепловым излучением.

Литература

1. Гершанок, В. А. Теория поля: учебник для бакалавров / В. А. Гершанок, Н. И. Дергачев. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 278 с.
2. Каринский, А. Д. Лекции по «Теории поля» («Теории полей, применяемых в разведочной геофизике»): учебное пособие / А. Д. Каринский; Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ-РГГРУ). – М.: МГРИ-РГГРУ, 2014. – 203 с.
3. Матвеев, А. Н. Электричество и магнетизм: учебное пособие / А. Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1983. – 463 с.

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА

Студент гр. 11312124 Бочило И. Н., студенты гр. 11303124 Девочко В. В., Смирнов В. В.

Ст. преподаватель Микитевич В. А., кандидат техн. наук, доцент Свистун А. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Сегодня повсеместно применяются светодиодные источники освещения: уличное освещение, подсветка фасадов, интерьерное освещение, фары автомобилей и так далее. При этом обычно заявляется большой срок службы светодиодов, но при этом не указывается при каких условиях. Наибольшее влияние на срок службы и световой поток светодиода оказывает повышенная температура [1]. Обычно в документации указываются характеристики светодиодов без учета их срока службы [2].

Цель этой работы – измерить основные параметры светодиодов при температуре кристалла, не превышающей 70 °С.

Выполнены исследования двух многокристалльных светодиодов PACL-115FxL-xCGN со следующими характеристиками: номинальная мощность 115 Вт, номинальный прямой ток 2,88 А, номинальное падение напряжения 36 В, максимальная температура кристалла 90 °С.

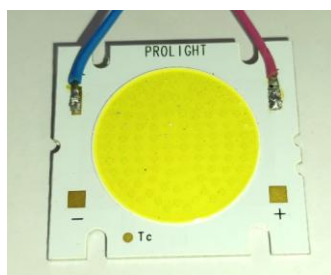
Используемое оборудование: светодиод был закреплен на алюминиевый радиатор площадью 920 см² с применением теплопроводящей пасты КПТ-8. Радиатор принудительно обдувался вентилятором. Светодиод был подключен к стабилизированному блоку питания GPD-

72303S в режиме стабилизации тока. Измерение температуры кристаллов выполнялось тепловизором UTi721M (погрешность измерения тепловизора ± 2 °C).

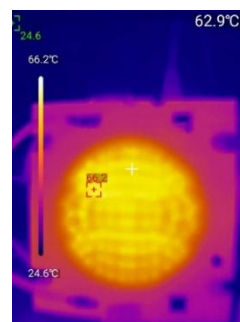
Исследование проводилось следующим образом: на светодиод подавалось номинальное значение тока. В случае превышения температуры 70 °C величина тока уменьшалась на 0,1 А. Далее светодиод оставался во включенном состоянии в течение 10 минут или пока температура кристалла не превысит 70 °C. Таким образом, путем постепенного уменьшения тока светодиода были получены результаты, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения параметров светодиода

Светодиод	Прямой ток, А	Падение напряжения, В	Мощность, Вт	Температура кристалла, °C
1	1,8	29	52,2	67
2	1,8	28	50,4	66



а



б

Рис. 1. Светодиод PACL-115FxL-xCGN: внешний вид (а); тепловизионный снимок (б)

Таким образом, для достижения большего срока службы светодиодов, необходимо уменьшить заявленную мощность. Полученные значения прямого тока и прямого падения напряжения необходимы для расчета параметров проектируемого стабилизатора тока для данного типа светодиодов.

Литература

1. The influence of junction temperature variation of LED on the lifetime estimation during accelerated aging test / X. X. Wang, M. Cai, Y. Wang [et al.] // IEEE Access. – 2018. – Vol. 7. – P. 4773–4781.
2. ProLight PACL-115FxL-xCGN 115W COB Light-Engine LEDs: техническое описание. – URL: <https://www.prolightopto.com/storage/ftp/DS-0764.pdf> (дата обращения: 03.03.2026).

УДК 004.932

ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВИДЕОАНАЛИТИКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАРАНТИННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Студент гр. 11301122 Веселовский В. А.

Ст. преподаватель Дударева О. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Видеоаналитика на базе искусственного интеллекта (ИИ) – одна из самых обсуждаемых тем в индустрии охранного видеонаблюдения. Некоторые приложения могут существенно ускорять анализ данных и автоматизировать повторяющиеся задачи. Однако на сегодняшний день системы ИИ не могут заменить человека, который принимает решения с учетом своих знаний и опыта. В такой ситуации успех принесет использование преимуществ систем ИИ для увеличения потенциала и возможностей человека.

Искусственный интеллект (ИИ) – это широкое понятие, связанное с машинами, которые могут решать сложные задачи, имитируя интеллект человека. Глубокое обучение и машинное обучение – это подмножества искусственного интеллекта. Машинное обучение – это подмножество ИИ, использующее статистические алгоритмы обучения для создания систем, которые могут автоматически учиться и совершенствоваться без явного программирования [1].

Традиционно программируемое компьютерное зрение основано на методах вычисления признаков изображения. Эти признаки должен задать вручную разработчик алгоритма, который

знает, что именно нужно искать в визуальных данных. Затем разработчик объединяет эти признаки для создания алгоритма, который позволит сделать вывод о том, что обнаружено в кадре.

Алгоритмы машинного обучения автоматически создают математическую модель с использованием значительного количества выборочных данных, чтобы получить возможность принимать решения путем вычисления результатов без специального программирования. Признаки по-прежнему задаются вручную, но тому, как их объединять, алгоритм учится сам в процессе обработки больших объемов данных. Такая техника использования заданных вручную признаков в комбинациях, которым алгоритм обучается сам, называется классическим машинным обучением.

Прежде чем развернуть готовое аналитическое приложение, алгоритм машинного обучения должен пройти серию этапов разработки и итераций. В основе аналитического приложения лежит один или несколько алгоритмов. В случае приложений глубокого обучения ядром алгоритма является модель глубокого обучения. Глубокое обучение представляет собой усовершенствованную версию машинного обучения, когда система обучается выделению признаков и способам объединения этих признаков в глубоких структурах правил для получения результата. Алгоритм может автоматически определять, какие признаки следует искать в данных, а также может изучать очень глубокие структуры связанных комбинаций признаков. Ядро алгоритмов основано на том, как работают нейроны и как мозг использует их для формирования знаний более высокого уровня путем объединения выходных нейронных сигналов в глубокой иерархии, или сети, связанных правил. Мозг – это система, в которой комбинации также формируются нейронами, стирая различие между выделением и комбинированием признаков. Ученые смоделировали эти структуры в так называемые искусственные нейронные сети, которые являются самым популярным типом алгоритмов глубокого обучения. Используя алгоритмы глубокого обучения, можно создавать сложные визуальные детекторы и автоматически обучать их обнаружению очень сложных объектов, устойчивых к масштабированию, вращению и прочим вариациям [2].

Причина такой гибкости заключается в том, что системы глубокого обучения могут учиться на гораздо большем объеме данных (к тому же характеризующихся более широким разнообразием), чем классические системы машинного обучения. В большинстве случаев они значительно превосходят алгоритмы компьютерного зрения, созданные вручную. Благодаря этому глубокое обучение идеально подходит для сложных задач, когда людям нелегко сформулировать комбинацию признаков, например, для классификации изображений, обработки лингвистической информации или обнаружения объектов.

Литература

1. «Карантинный пакет» модулей интеллектуальной видеоаналитики TRASSIR // DSSL. – URL: <https://www.dssl.ru/publications/stati/karantinnyy-paket-moduley-intellektualnoy-videoanalitiki-trassir> (дата обращения: 15.02.2026).
2. Видеонаблюдение и коронавирус. Умные камеры и карантин // FACETER. – URL: <https://faceter.cam/ru/blog/videonablyudenie-i-koronavirus-umnye-kamery-i-karantin> (дата обращения: 15.02.2026).

УДК 004.932.4

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАССОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

Студент гр. 11301122 Веселовский В. А.¹, магистрант гр. 415401 Морозова А. Н.²

Ст. преподаватель Дударева О. В.^{1,2}

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Для защиты предприятия розничной торговли от потерь необходимо обеспечить надежный контроль всей его территории. Наиболее эффективна для этой цели система контроля кассовых операций и видеонаблюдения, способная получать текстовую и событийную информацию от различных источников, синхронизировать ее с видеоизображением и предоставлять в удобном для анализа виде.

Система контроля кассовых операций «POS-Интеллект» позволяет своевременно реагировать на происходящие события, усилить контроль работы кассиров, повысить раскрываемость нарушений на кассовых узлах, снизить уровень потерь, повысить качество обслуживания, разрешать спорные ситуации с покупателями.

Функции контроля кассовых операций модуля «POS-Интеллект» основаны на синхронизации информации, поступающей от кассового узла, с видеоизображением, поступающим от направленной на кассу видеокамеры. В результате при наблюдении в реальном времени и при просмотре видеозаписи из архива оператор видит на экране монитора видеоизображение расчета с покупателем на кассе и текстовую информацию в виде титров. Эта информация включает текст чека и события кассового терминала, которые не отображаются в чеке – например, открытие денежного ящика или ввод кода товара вручную. Такой подход позволяет составить полную картину событий, происходящих на кассовом узле, что дает возможность отслеживать и выявлять распространенные способы махинаций [1].

Подсистема видеонаблюдения в рамках решения для розничной торговли основывается на программном комплексе «Интеллект» и обладает всеми его достоинствами. «Интеллект» позволяет создать систему видеонаблюдения, включающую неограниченное количество видеокамер, видеосерверов, рабочих мест операторов и администраторов системы. Рабочие места могут быть организованы непосредственно на видеосерверах или на отдельных компьютерах. Эти компьютеры могут подключаться к видеосерверам как по локальной сети, так и удаленно через Интернет. Возможность удаленного наблюдения и администрирования позволяет создать единый мониторинговый центр, в который будет поступать информация со всех территориально удаленных охраняемых объектов – например, из всех магазинов единой торговой сети. При удаленном наблюдении доступно не только видеоизображение, но и данные системы контроля кассовых операций [2].

Для автоматизации работы системы видеонаблюдения и повышения эффективности работы операторов в «Интеллекте» реализован богатый функционал видеоаналитики. Более 10 видеодетекторов позволяют оптимально настроить систему видеонаблюдения для автоматического отслеживания различных тревожных ситуаций. А сервисные детекторы подают сигнал в случае сбоев в работе видеокамер – они позволяют идентифицировать попытки вывода камер из строя и детектируют различные помехи, мешающие высококачественной регистрации событий. Также «Интеллект» поддерживает встроенную видеоаналитику IP-камер и может работать со специализированными устройствами видеоаналитики [3].

Система идеальна как для установки в крупные сети супермаркетов, кинотеатров, парикмахерских, заправочных станций, так и в малые точки продаж. Ежемесячно магазины терпят убытки из-за некомпетентности и воровства кассиров; система контроля кассовых операций поможет сократить до минимума эти никому не нужные траты. Гибко настраиваемый фильтр позволит выявить практически любую схему воровства, а легкость и простота работы с архивом позволят незамедлительно среагировать на любую внештатную ситуацию. В среднем сокращение финансовых потерь торговых предприятий, возникающих в кассовых зонах после внедрения системы контроля кассовых операций, как правило, составляет от 40 до 60 %.

Литература

1. Система контроля кассовых операций «POS-Интеллект» – видеонаблюдение и контроль работы кассиров // IT Federation. – URL: <https://it-federation.ru/it-autsorsing/it-resheniya,-saas,-iaas/integrirovannaya-cb/pos-intellekt.html/> (дата обращения: 25.02.2026).
2. POS-Интеллект Контроль кассовых операций // Видеоглаз. – URL: <https://videoglaz.ru/blog/pos-intellekt-kontrol-kassovyh-operaciy/> (дата обращения: 25.02.2026).
3. Контроль кассовых операций // ITV. – URL: <https://www.itv.ru/products/intellect/posintellect/functions.html/> (дата обращения: 25.02.2026).

УДК 681.586.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МАКЕТА ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ НА БАЗЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА

Студент гр. 140841/02 (магистрант) Дулуб Я. В.

Кандидат техн. наук, доцент Каликанов А. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Одним из наиболее перспективным датчиком для решения задач ориентации ввиду соотношения таких характеристик как точность, цена и простота изготовления, является волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором (ВТГ) [1].

В данной работе рассматриваются результаты проведенных испытаний макета датчика угловой скорости на базе волнового твердотельного гироскопа (ВТГ-ДУС) [2], состав которого представлен на рис. 1.

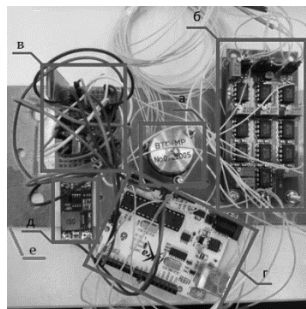


Рис. 1. Состав объекта испытаний: ВТГ (а); блок электроники (б); устройство согласования (в); отладочная плата «Iskra Uno» (г); преобразователь напряжения LM5430 (д); диэлектрическая подложка (е)

Макетный образец испытывался на прецизионном поворотном столе в диапазоне угловых скоростей от -100 °/с до 100 °/с. На втором этапе осуществлялась запись выходного сигнала на неподвижном основании в течение одного часа, после чего по данной записи была построена вариация Аллана в программе *AlaVar 5.2* (рис. 2).

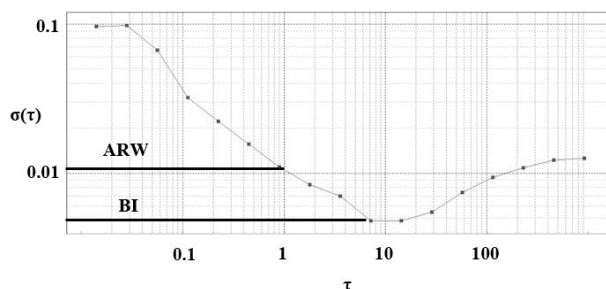


Рис. 2. Вариация Аллана

По результатам проведенных испытаний на поворотном столе был определен средний масштабный коэффициент, который равен $41,865$ (°/с)/В [2]. Анализ вариаций Аллана (рис. 2) показал, что ARW (плотность шума выходного сигнала) составляет $0,011$ град/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$, BI (плотность) составляет $0,0048$ град/ $\sqrt{\text{с}}$. Данные показатели свидетельствуют о принципиальной возможности построения ДУС на базе ВТГ.

Литература

1. Волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором / В. Я. Распопов [и др.]; под ред. В. Я. Распопова. – Тула: Издательство ТулГУ, 2018. – 189 с.
2. Дулуб, Я. В. Испытания макета датчика угловой скорости на базе волнового твердотельного гироскопа / Я. В. Дулуб // Промышленная революция 4.0: взгляд молодежи: тезисы докладов 7-й Межрегиональной научной сессии молодых исследователей. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2025. – С. 76–77.

УДК 004.932.4

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАССОВЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ВИДЕОАНАЛИТИКИ

Студент гр. 11301122 Веселовский В. А.¹, магистрант гр. 415401 Морозова А. Н.²

Ст. преподаватель Дударева О. В.^{1,2}

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

В современных условиях цифровизации экономики особую актуальность приобретает задача обеспечения прозрачности и безопасности кассовых операций. Существенная доля финансовых потерь торговых предприятий связана с ошибками персонала, злоупотреблениями и мошенническими действиями на кассовых узлах. Традиционные методы видеонаблюдения не обеспечивают достаточного уровня автоматизации анализа событий и требуют

значительных временных затрат со стороны операторов. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является интеграция систем видеонаблюдения с данными кассовых терминалов (POS-систем).

«POS-Интеллект» позволяет производить поиск записей в видеоархиве по титрам. Это дает возможность находить все интересующие чеки и связанные с ними видеозаписи за определенный период времени по заданной текстовой строке. Поиск осуществляется по любой текстовой информации, содержащейся в чеке. Это может быть наименование товара, слово «скидка», номер кассира, сумма чека и т. д.

При анализе записи в видеоархиве можно регулировать скорость просмотра и просматривать отдельные кадры, соответствующие пробитию того или иного товара, что позволяет не упустить из вида важные детали [1].

Для поиска необходимой информации по чекам можно использовать готовые запросы, а также создавать собственные. Результат выводится на экран в виде списка найденных чеков. Затем можно просмотреть соответствующее выбранному чеку видео с титрами, распечатать или сохранить в файл текст чека и стоп-кадр, соответствующий выбранной строке чека

Для того, чтобы привлечь внимание оператора к определенным событиям, можно ввести текст, при появлении которого в титрах строка будет подсвечиваться выбранным цветом. Таким текстом может быть, например, наименование какого-либо товара или слово «аннулирован». Эта функция позволяет повысить эффективность видеонаблюдения в режиме реального времени [2].

«POS-Интеллект» позволяет задать сценарии реакции системы на выбранные события. Такой реакцией может быть, например, вывод окна тревожного оповещения. Эта функция позволяет с накоплением опыта работы вводить в систему все новые и новые потенциально опасные события и задавать реакции системы на них, что дает возможность наиболее эффективно решать задачи борьбы с мошенничеством на кассах при наблюдении в режиме реального времени, то есть вовремя реагировать на сложившуюся ситуацию.

Система веб-отчетов предназначена для централизованного получения статистики работы системы контроля кассовых операций из любого магазина торговой сети. Эта система может использоваться как в рамках единого мониторингового центра, так и для удаленного получения необходимой статистической информации менеджерами, руководством службы безопасности и руководством торговой сети. Система веб-отчетов позволяет с любого персонального компьютера, подключенного к сети Интернет, через обычный веб-браузер просматривать отчеты по событиям кассового узла, видеозаписи этих событий и тексты чеков, а также печатать и отправлять отчеты по электронной почте [3].

«Интеллект» позволяет, наряду с системами видеонаблюдения и контроля кассовых операций, включить в комплекс безопасности торгового предприятия систему контроля доступа, системы охранной и пожарной сигнализации. Контроль и управление всем комплексом может производиться как с единого универсального рабочего места, так и с нескольких рабочих мест, в том числе удаленно. Гибкость настраиваемых фильтров позволит выявить практически любую схему воровства, а легкость и простота работы с архивом позволят незамедлительно среагировать на любую внештатную ситуацию.

Литература

1. Система контроля кассовых операций «POS-Интеллект» – видеонаблюдение и контроль работы кассиров // IT Federation. – URL: <https://it-federation.ru/it-autsorsing/it-resheniya,-saas,-iaas/integrirovannaya-cb/pos-intellekt.html/> (дата обращения: 25.02.2026).
2. POS-Интеллект Контроль кассовых операций // Видеоглаз. – URL: <https://videoglaz.ru/blog/pos-intellekt-kontrol-kassovyh-operaciy/> (дата обращения: 25.02.2026).
3. Контроль кассовых операций // ITV. – URL: <https://www.itv.ru/products/intellekt/posintellekt/functions.html/> (дата обращения: 25.02.2026).

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ОГРАНИЧЕННЫХ СИСТЕМ

Студент гр. 140251/02 Денисов М. О.

Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.

ФБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Современные приборостроительные и робототехнические системы все чаще оснащаются алгоритмами обработки изображений, функционирующими в составе маломощных и автономных вычислительных платформ. В таких условиях особую роль играет задача регистрации объектов в видеопотоке в реальном времени, поскольку от эффективности ее решения зависят функции навигации, измерений, анализа сцены и принятия решений [1].

Особенностью маломощных вычислительных устройств является наличие жестких ограничений по вычислительной мощности, энергопотреблению и допустимым задержкам обработки данных. В связи с этим возникает необходимость не только в разработке эффективных алгоритмов трекинга, но и в корректной оценке их применимости в условиях реальной эксплуатации.

Классические алгоритмы регистрации объектов, такие как методы на основе корреляционных фильтров и анализа движения, отличаются низкой вычислительной сложностью и высокой скоростью работы. Это делает их привлекательными для мобильных систем, однако устойчивость таких алгоритмов существенно снижается при изменении внешнего вида объекта, освещенности сцены и при наличии частичных перекрытий.

Современные интеллектуальные алгоритмы трекинга позволяют добиться повышенной точности и устойчивости регистрации объектов благодаря использованию детализированных признаков описаний. Вместе с тем большинство современных решений ориентированы на вычислительно мощные платформы и, как правило, оцениваются преимущественно по показателям точности. Такой подход не позволяет адекватно оценить пригодность алгоритмов для мобильных устройств, поскольку не учитывает вычислительную сложность и задержки обработки видеопотока [2, 3].

В рамках данной работы предлагается система критериев оценки алгоритмов регистрации объектов, ориентированная на применение в маломощных вычислительных устройствах. В отличие от традиционных подходов, предложенная система учитывает совокупность характеристик, определяющих возможность практической реализации алгоритмов в системах реального времени. Предлагаемые ключевые критерии приведены в табл. 1.

Использование формализованной системы критериев позволяет на ранних этапах проектирования отсеивать заведомо непригодные архитектуры и обосновывать выбор направлений оптимизации алгоритмов обработки изображений для маломощных и встроенных вычислительных платформ.

Таблица 1 – Критерии оценки алгоритмов регистрации объектов для маломощных вычислительных устройств

Критерий	Описание
Точность локализации объекта	Характеризует качество сопровождения
Вычислительную сложность алгоритма	Определяет требования к вычислительным ресурсам
Временную задержку обработки видеопотока	Определяет возможность работы в реальном времени
Стабильность трекинга во времени	Важна для длительного наблюдения
Адаптируемость алгоритма	Критично для маломощных условий
Пригодность к оптимизации	Определяет потенциал внедрения

Литература

1. Wu, Y. Object Tracking Benchmark / Y. Wu, J. Lim, M.-H. Yang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2015. – Vol. 37, № 9. – P. 1834–1848.
2. Fully-Convolutional Siamese Networks for Object Tracking / L. Bertinetto, J. Valmadre, J. Henriques [et al.] // European Conference on Computer Vision (ECCV). – 2016. – P. 850–865.
3. Zhang, Z. Deeper and Wider Siamese Networks for Real-Time Visual Tracking / Z. Zhang, H. Peng // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2019. – P. 4591–4600.

УДК 625.712

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Студент гр. 11308125 Жолнерович А. В.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Под беспилотными технологиями понимается «относительно новое направление совершенствования транспорта, подразумевающее автоматическое либо дистанционное управление движением транспортных средств и другими процессами, минимизируя участие человека с одновременным повышением производительности транспортных систем» [1]. В современном мире все большую популярность набирают системы беспилотного управления (СБУ). Использование таких систем позволяет автоматизировать различные процессы. Внедрение СБУ в железнодорожный транспорт обеспечит повышение безопасности, экономичности и эффективности железнодорожных перевозок. Принцип работы систем автоведения железнодорожного состава включает сложный алгоритм взаимодействия модулей связи, центра управления, искусственный интеллект, GPS, датчиков пути, хранилища данных, тормозной и энергосистемы, системы мониторинга (рис. 1).



Рис. 1. Принцип работы систем автоведения

Использование СБУ увеличивает пропускную способность за счет улучшения координации движения и оптимизации расписания поездов, а также снижает возникновение ошибок и аварийных ситуаций.

Наиболее известные иностранные системы беспилотного управления: AutoHaulTM, Urbalis 400 СВТС [2]. Первая – эксплуатируется для движения грузовых поездов, перевозящих железную руду в регионе Пилбара, Австралия. Система использует камеры, алгоритмы машинного обучения, искусственный интеллект, что позволяет поездам «видеть» препятствия и корректировать скорость и другие характеристики в зависимости от рельефа местности. Вторая система применяется в Сиднейском метрополитене, что позволило обеспечить полную автоматизацию движения поездов. Urbalis 400 СВТС позволяет поездам обмениваться информацией в реальном времени, а следовательно, изменять параметры так, чтобы предотвращать столкновения и минимизировать интервалы движения между поездами. Внедрение систем AutoHaulTM и Urbalis 400 СВТС повысило безопасность, эффективность и автоматизацию перевозок, снизило эксплуатационные затраты, предоставляя высокий уровень комфорта для пассажиров и надежность для операторов железнодорожных сетей.

В Беларуси разработали и провели в 2024 г. испытания беспилотного рельсового транспорта: 48-местного юнибуса U4-220 компании UST Inc. Это – беспилотник, где вместо машиниста функционирует автоматизированная система управления. Дополнительно ситуацию контролирует диспетчер. Юнибус также оснащен системами ABS/ASR, предотвращения столкновений, технического зрения и индивидуального спасения. Одно из главных качеств U4-220 – экономичность. Юнибус может перевозить пассажиров со скоростью до 150 км/ч. При этом расход энергии составляет около 32,5 кВт·ч/100 км.

Литература

1. Зелова, М. И. Беспилотные технологии на транспорте. Перспективы развития / М. И. Зелова, А. В. Комаров // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – № 2(12). – URL: <https://mnv.irknps.ru/toma/212-2021> (дата обращения: 10.02.2026).
2. Цзян Ди. Беспилотные системы управления транспортом, опыт в железнодорожном транспорте / Цзян Ди // Теория и практика современной науки. – 2024. – № 7 (109). – С. 86–91. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bespilotnye-sistemy-upravleniya-transportom-opyt-v-zheleznodorozhnom-transporte> (дата обращения: 18.02.2026).

УДК 621.396.6

МОБИЛЬНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Студент гр. 11303124 Журавель Д. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Контроль толщины покрытий является критически важным этапом производства, так как от этого параметра напрямую зависят коррозионная стойкость, износостойкость и общий срок службы изделий в машиностроении, строительстве и других отраслях. Отклонения от нормативной толщины ведут к преждевременному разрушению конструкций и значительным финансовым потерям. В связи с этим применение точных средств неразрушающего контроля, таких как толщиномеры покрытий, выступает обязательным условием обеспечения качества, безопасности и экономической эффективности современного производства.

Целью данной работы является обоснование целесообразности разработки конструкции мобильного толщиномера лакокрасочных покрытий для функционирования на открытом воздухе для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом и степенью защиты конструкции IP 55.

В настоящий момент есть много приборов, предназначенных для измерения толщины покрытий. К числу подобных аналогов относятся: толщиномер лакокрасочного покрытия ЕТ-111, многофункциональный магнитный толщиномер покрытий Константа К6, толщиномер покрытий магнитный ТМ-20МГ4 (рис. 1).

Толщиномер лакокрасочного покрытия ЕТ-111 имеет такие достоинства, как: универсальность (работает как со сталью, так и с алюминием), морозостойкость (до -25°C), высокая точность и скорость. К недостаткам можно отнести габариты, широкий датчик, не продолжительная возможность автономной работы.

Многофункциональный магнитный толщиномер покрытий Константа К6 отличается такими достоинствами, как универсальность и широкий диапазон применений, компактность. Среди недостатков следует выделить чувствительность к геометрии поверхности и высокую стоимость прибора [1].

Толщиномер покрытий магнитный ТМ-20МГ4 отличается высокой точностью измерений, надежностью, а также компактностью прибора. Основным недостатком является недостаточно широкий диапазон рабочих температур (от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$), невозможность измерения никелевых электролитических покрытий и высокая чувствительность к шероховатости и кривизне поверхности [2].



Рис. 1. Современные электронные толщиномеры:

толщиномер лакокрасочного покрытия ЕТ-111 (а); многофункциональный магнитный толщиномер покрытий Константа К6 (б); толщиномер покрытий магнитный ТМ-20МГ4 (в)

В результате проведенного обзора было установлено, что разработка толщиномера лакокрасочных покрытий, обеспечивающих длительность автономной работы, расширенный диапазон рабочих температур, климатическим исполнением УХЛ1 и степенью защиты конструкции IP55 являются актуальным.

Для решения цели данной работы необходимо решить следующие задачи: 1) оптимизировать тип конструкционных материалов несущих конструкций; 2) разработать технические решения, обеспечивающие функционирование прибора в диапазоне температур от -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$; 3) разработать конструкторские решения, обеспечивающее частичную защиту от пыли, защиту

от струй воды, падающих под любым углом и обеспечить корпус минимальным числом разъемных соединений.

Литература

1. Многофункциональный магнитный толщиномер покрытий Константа К6 // АТЛАС ИНВЕСТ : контрольно-измерительные приборы и инструменты. – URL: <https://atlasmetr.com/index.pl?act=PRODUCT&id=105> (дата обращения: 28.02.2026).

2. Толщиномер покрытий магнитный ТМ-20МГ4 // АТЛАС ИНВЕСТ: контрольно-измерительные приборы и инструменты. – URL: <https://atlasmetr.com/index.pl?act=PRODUCT&id=104> (дата обращения: 28.02.2026).

УДК 681

ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты гр. 11301124 Карнилович А. Г., Пирогова Е. Н.

Ст. преподаватель Куклицкая А. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Выбор извещателя как источника измерительной информации определяется его способностью достоверно и оперативно видеть первичные факторы пожара.

Цель работы заключается в сравнительном анализе трех извещателей: оптико-электронного дымового, аспирационного, газового пожарного. Их сравнение по чувствительности, времени срабатывания и характеру реакции. Сравнительный анализ трех типов устройств по ключевым параметрам. Характер реакции и физический принцип:

– Оптико-электронный дымовой: осуществляет мониторинг оптической плотности среды, регистрируя рассеяние излучения на частицах дымового аэрозоля.

– Аспирационный: реализует активный метод контроля путем принудительного забора воздушных проб и, соответственно, их анализа лазерным нефелометром на наличие продуктов термического разложения.

– Газовый: основан на электрохимическом методе определения парциального давления угарного газа.

Чувствительность и время срабатывания:

– Аспирационные системы характеризуются минимальной инерционностью и сверхвысокой чувствительностью, обеспечивая обнаружение возгорания на стадии перегрева (пиролиза) до появления видимого задымления.

– Газовые извещатели эффективны на ранней стадии тления, обеспечивая выигрыш во времени в условиях, когда тепловой поток и плотность дыма недостаточны для активации иных сенсоров.

– Оптико-электронные датчики обладают средней чувствительностью, ограниченной временем естественной конвекции продуктов горения к устройству.



Рис. 1. Оптико-электронный дымовой извещатель ИП-212 189-А



Рис. 2. Аспирационный извещатель VLW-008



Рис. 3. Газовый извещатель ИП 435-1 v4

По итогу, аспирационные извещатели являются наиболее эффективными для более раннего обнаружения пожара на объектах. Газовые извещатели хорошо использовать при защите объектов с преобладанием процессов тления, а оптико-электронные остаются стандартным решением для общих условий использования.

Литература

1. Технические средства обеспечения безопасности: учеб.-метод. пособие / И. Е. Зуйков [и др.]; под ред. И. Е. Зуйкова. – Мн.: БГПА, 2001. – 178 с.

2. СТБ 11.0.02-95. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность. Общие термины и определения. – Введ. 01.07.1996. – Мн.: Госстандарт: БелГИСС, 1995. – 23 с.

МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ГИРОСКОПЫ: ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Студент гр. 140851/02 (магистрант) Иванов Е. Е.

Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Микромеханические, или микрогироскопы являются электро-механическими системами, в которых энергия вынужденных (первичных) колебаний инерционной массы (ИМ) на упругом подвесе (резонатор) при появлении переносной угловой скорости преобразуется в энергию вторичных колебаний, которые содержат информацию об измеряемой угловой скорости [1].

В данной работе рассматривается понятие микроэлектромеханических систем (МЭМС) на примере МЭМС гироскопов, современные методы их производства и применение, а также проводится анализ перспектив их использования в будущем.

Были рассмотрены 3 разновидности МЭМС гироскопов по типу механического движения их чувствительного элемента по двум рабочим осям, а именно $L-L$ типа и $R-R$ типа и $R-L$ типа (рис. 1). Буквы в названии типа обозначают характер этого движения: L (от английского *Linear*) – линейное или поступательное, а R (от английского *Rotational*) – вращательное.

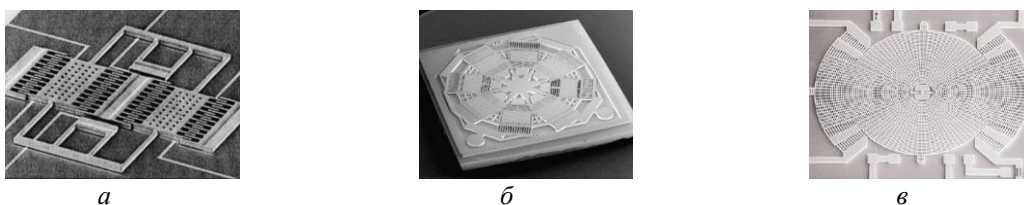


Рис. 1. МЭМС Гироскопы: $L-L$ типа (а); $R-L$ типа (б); $R-R$ типа (в)

Несмотря на прогресс, МЭМС-гироскопы сталкиваются с рядом фундаментальных проблем, ограничивающих их точность и надежность:

- Дрейф смещения нуля является основной погрешностью, которая приводит к накоплению ошибки определения угла с течением времени. Она вызвана несовершенством конструкции, остаточными механическими напряжениями и влиянием электроники.

- Чувствительность к температуре. Оказывает влияние на параметры гироскопа, которые сильно зависят от температуры (смещение нуля, масштабный коэффициент). Например, пьезо-керамические гироскопы которые особенно подвержены температурной нестабильности.

- Вибрационный шум и чувствительность к внешним воздействиям – это механические вибрации, удары и акустические помехи, которые могут наводить паразитные сигналы, маскирующие полезный сигнал от силы Кориолиса и снижающие точность.

- Производственные вариации. Из-за микроскопических размеров и сложности процессов даже в пределах одной партии наблюдаются разбросы параметров, что требует индивидуальной калибровки каждого устройства.

- Термомеханический шум – это фундаментальное ограничение, обусловленное тепловым движением молекул в подвижных элементах гироскопа, которое создает случайный шум, определяющий теоретический предел точности.

Литература

1. Распопов, В. Я. Микромеханические приборы: учебное пособие / В. Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.

УДК 654.924.5

СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ ПОЛИКЛИНИКИ

Студент гр. 31301121 Кабась Д. А.

Кандидат техн. наук, доцент Мисюкевич Н. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для поликлиники разработан проект системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ). Она обеспечивает информирование людей о пожаре, необходимости эвакуироваться и путях эвакуации. Работа СОУЭ позволяет реализовать план эвакуации людей при пожаре в случае его возникновения в любой из контролируемых зон. Управление осуществляется в автоматическом режиме по заранее заданному алгоритму, который сформирован на основе расчета параметров безопасной эвакуации людей при пожаре. В расчете учтены временные параметры развития опасных факторов пожара в начальной стадии и движение людских потоков до достижения доминирующим фактором предельно допустимого значения. Помимо СОУЭ, поликлиника оборудуется системой пожарной сигнализации (СПС) и системой передачи извещений о пожаре. Совокупность данных систем формирует систему пожарной автоматики поликлиники.

При обнаружении возгорания пожарным извещателем и повторного подтверждения достоверности его сигнала СПС формирует извещение о пожаре, которое передается на пожарный приемно-контрольный прибор, расположенный на пожарном посту. Объектовое оконечное устройство передает сигнал в пункт диспетчеризации пожарной автоматики МЧС по беспроводному каналу связи. Также СПС передает команду «Пуск СОУЭ» на соответствующий зональный коммутатор Танго-ПУ/ЗК, что обеспечивает автоматический запуск оповещения в зоне пожара. В зоне пожара транслируется сообщение «Пожар в зоне расположения помещения. Свяжитесь с дежурным по вызывному устройству. Покиньте здание по направлению, указанному световым указателем». Далее прибор управления Танго-ПУ/БП-8 с заданной временной задержкой активирует оставшиеся зональные коммутаторы, обеспечивая поэтапное включение оповещения в остальных зонах поликлиники. Передается речевое сообщение «Пожар в здании. Покиньте здание по направлению, указанному световым указателем». На выходах с этажей и из здания включаются световые табло «Выход».

При пожаре предусмотрена возможность ручного управления системой с помощью микрофонной консоли Танго-МК8, которая обладает наивысшим приоритетом. Консоль позволяет оператору выбирать конкретные зоны для трансляции или осуществлять оповещение по всему зданию поликлиники. При активации микрофона автоматическое воспроизведение сообщений приостанавливается для передачи оперативных указаний диспетчера. Предусмотрены два алгоритма управления эвакуацией людей при пожаре. В одном случае, если нет подтверждения о достоверности возникновения пожара от людей в зоне формирования сигнала «Пожар» СПС, применяются максимально допустимые задержки оповещения, до подтверждения факта пожара дежурным персоналом или отмены оповещения в случае его отсутствия. Это позволяет минимизировать негативные последствия для функционирования поликлиники в случае включения СОУЭ по ложному сигналу СПС. В другом случае, при подтверждении достоверности пожара персоналом, применяется алгоритм минимально необходимых задержек оповещения между зонами для поддержания критической плотности людского потока на общих путях эвакуации и проведения эвакуации за минимально возможное время.

Надежность и устойчивая работы СОУЭ обеспечивается выбором оборудования, прошедшего подтверждение соответствия регламентам Евразийского и Таможенного союза и наличием двух независимых источников электроснабжения. Резервирование электропитания всех технических средств системы осуществляется от внешних источников бесперебойного питания. Это обеспечивает функционирование СОУЭ при отсутствии основного сетевого напряжения в течение 24 часов в дежурном режиме и не менее 1 часа в режиме «Оповещение о пожаре».

УДК 681

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Калачев А. А.

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

В результате выполненных исследований разработан и экспериментально подтвержден метод диагностики технического состояния асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, основанный на анализе частотных характеристик (импедансной и фазочастотной). В отличие от традиционных подходов, ориентированных на измерение интегральных параметров, предложенный метод позволяет с высокой чувствительностью выявлять широкий спектр дефектов на ранней стадии их развития, включая межвитковые и межфазные короткие замыкания, замыкания на корпус, а также эксцентриситет ротора.

Экспериментальные исследования проведены с использованием как специализированных измерителей иммитанса (Е7-30), так и косвенного метода трех вольтметров на базе мультиметров В7-68 и генератора ГЗ-112. Для имитации дефектов различной степени тяжести применялось искусственное вмешательство в обмотку с выводением отводов и использованием магазина сопротивлений в диапазоне от 1 кОм до 100 кОм. Достоверность результатов обеспечивалась строгим соблюдением методики измерений, учетом влияния заземления, длины и волнового сопротивления измерительных кабелей, а также нормализацией полученных данных. Установлены следующие диагностические признаки:

1. Межвитковое короткое замыкание (МКЗ): характеризуется уменьшением амплитуды первого и второго резонансов импедансной характеристики при несущественном изменении их частот. При измерении фазных импедансов (схема «звезда») наблюдается увеличение амплитуды первого резонанса и смещение его частоты вверх. Метод позволяет не только обнаружить МКЗ, но и идентифицировать поврежденную фазу.

2. Межфазное короткое замыкание: помимо снижения амплитуды резонансов, происходит более значительное, чем при МКЗ, смещение резонансных частот в сторону увеличения. Для фазочастотной характеристики характерно смещение частот минимумов.

3. Короткое замыкание на корпус: выявляется по уменьшению амплитуды резонансов импедансной характеристики по мере снижения сопротивления изоляции. Достоверность обнаружения данного дефекта в значительной степени зависит от места повреждения, качества заземления и параметров измерительной цепи.

4. Эксцентриситет ротора: проявляется в виде небольшого изменения фазочастотной характеристики в области частот 50–100 кГц (после второго резонанса).

Показано, что форма частотных характеристик для неповрежденных фаз двигателя остается практически неизменной, что создает основу для применения методов интеллектуального анализа, в частности сверточных нейронных сетей (CNN), ориентированных на распознавание образов нормализованных графиков. Разброс параметров для бездефектного состояния не превышает 10 % по амплитуде и 3 % по частоте первого резонанса, что позволяет использовать в качестве референсных значений как исходные данные конкретного двигателя, так и характеристики однотипных машин (с учетом возможных конструктивных отклонений).

Таким образом, разработанный метод и его схемотехническая реализация обеспечивают переход к системе обслуживания электрооборудования по фактическому состоянию, позволяя с заданной достоверностью локализовать развивающиеся дефекты на этапе, предшествующем отказу. Это подтверждает целесообразность его внедрения в практику диагностики электродвигателей на промышленных предприятиях и транспорте.

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

Студенты гр. 11301124 Карнилович А. Г., Пирогова Е. Н.

Ст. преподаватель Микитевич В. А., кандидат техн. наук, доцент Воробей Р. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

При измерении контактной разности потенциалов (КРП) бесконтактными методами зондовой электрометрии возникает необходимость исследования зависимости КРП от температуры. Это связано с тем, что потенциал поверхности зависит от множества различных факторов, состояния поверхности и качества ее обработки [1, 2]. Предполагается, что величина КРП будет зависеть от температуры. С этой целью был изготовлен подогрев столика для образцов на основе двух резисторов RX24 номинальной мощностью 25 Вт и сопротивлением 2 Ом.

Цель исследования – определить время установившегося режима и максимальную температуру нагрева при разных значениях мощности, выделяемой на резисторах.

Питание резисторов осуществлялось от стабилизированного источника напряжения GPD-72303S в режиме стабилизации тока. Измерение температуры осуществлялось тепловизором UTi721M (погрешность измерения тепловизора ± 2 °C). В качестве образца использовалась алюминиевая пластина толщиной 1 мм покрытая черной краской с целью уменьшения коэффициента отражения ИК излучения. На рис. 1 представлены графики зависимости температуры образца от времени при разных значениях мощности резисторов. Мощность резисторов определена путем перемножения фактических значений тока и напряжения.

При мощности резисторов 37,5 Вт, 16,6 Вт и 4,2 Вт в установившемся режиме была достигнута температура 90 °C, 61 °C и 35 °C соответственно. Однако время достижения установившегося режима велико (более 60 минут). Поэтому предполагается использовать быстрый разогрев при повышенной мощности (109 Вт) и последующее уменьшение мощности для поддержания требуемой температуры.

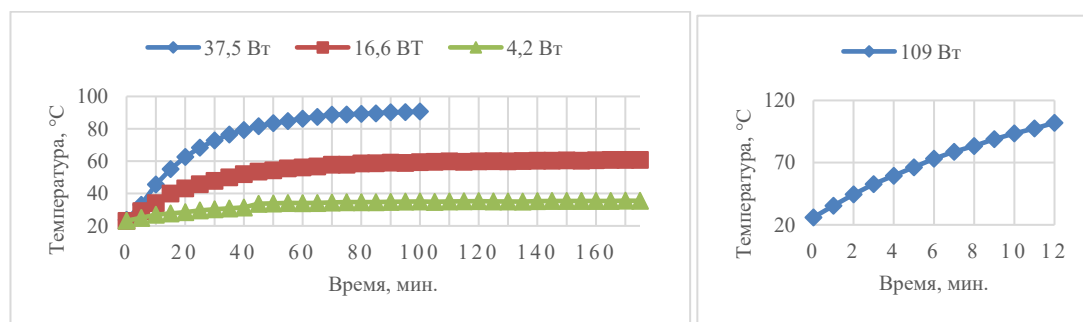


Рис. 1. Зависимость температуры образца от времени при разных значениях мощности

Результаты данной работы будут положены в основу методики проведения исследования зависимости КРП от температуры.

Литература

1. Вычислительные методы идентификации критических зон в распределении поверхностного потенциала / О. В. Юхновская, М. А. Гундина, В. А. Микитевич [и др.] // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики, аэрокосмических технологий и физики конденсированного состояния: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конференции, 22–23 мая 2025 г., Минск. – Мн.: СтройМедиаПроект, 2025. – С. 462–464.
2. Методы исследования изменения зарядового состояния композиционных материалов при внешнем энергетическом воздействии / К. В. Пантелеев, А. В. Самарина, Р. И. Воробей [и др.] // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики, аэрокосмических технологий и физики конденсированного состояния: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конференции, 22–23 мая 2025 г., Минск. – Мн.: СтройМедиаПроект, 2025. – С. 459–461.

УДК 621.396.6.017.7

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Магистрант гр. 7-06-0716-03 Книга Н. А.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Повышение плотности тепловыделения современных компонентов остается одной из ключевых проблем при проектировании радиоэлектронной аппаратуры. Увеличение функциональной сложности устройств неизбежно ведет к росту локальной тепловой мощности и перегреву элементов конструкции. Превышение допустимого температурного режима ускоряет деградацию полупроводниковых структур, снижает надежность и сокращает срок службы аппаратуры. В связи с этим разработка эффективных систем пассивного охлаждения является приоритетной задачей на этапе проектирования.

Одним из наиболее распространенных способов отвода тепла является применение радиаторов с развитой поверхностью теплообмена. Эффективность таких устройств определяется совокупностью геометрических параметров: высотой, толщиной и расстоянием между пластинами. При естественном воздушном охлаждении данные параметры определяют не только площадь теплообмена, но и динамику движения воздушных масс. С уменьшением шага между пластинами растет площадь поверхности, однако одновременно возрастает аэродинамическое сопротивление каналов. При естественной конвекции это может привести к снижению интенсивности теплоотвода. Таким образом, необходимо определить рациональное значение шага пластин, обеспечивающее эффективный теплоотвод при заданных габаритах основания.

В качестве объекта исследования выступила тепловая модель, включающая в себя источник тепловыделения мощностью 15 Вт и размерами 23×23 мм, подложку и алюминиевый пластинчатый радиатор с основанием 40×40 мм и пластинами высотой 20 мм. В ходе работы варьировался шаг между пластинами при сохранении внешних габаритов конструкции. Численные расчеты выполнялись на основе методов вычислительной гидрогазодинамики, базирующихся на решении системы уравнений Навье-Стокса и уравнения энергии [1]. Температура окружающей среды принималась равной 25°C .

Для оценки эффективности охлаждения рассчитывалось полное термическое сопротивление системы $R_{\text{тс}}$ (К/Вт) по формуле:

$$R_{\text{тс}} = (T_{\text{макс}} - T_{\text{окр}})/P, \quad (1)$$

где $T_{\text{макс}}$ – максимальная температура тепловыделяющего элемента, $^\circ\text{C}$; $T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$; P – мощность тепловыделения, Вт.

Анализ результатов моделирования позволил выявить закономерности влияния геометрии на тепловой режим. Установлено, что малый шаг между пластинами (порядка 4 мм) не позволяет достичь высокой эффективности охлаждения. В этом случае пограничные слои соседних пластин смыкаются, формируя зону с высоким аэродинамическим сопротивлением. Это практически блокирует развитие естественной конвекции, создавая зоны застоя внутри радиатора, из-за чего термическое сопротивление возрастает до $3,13$ К/Вт. Чрезмерное увеличение шага (свыше 10 мм) также оказывается неэффективным. В данной конфигурации условия для циркуляции воздуха благоприятны, однако суммарная площадь поверхности радиатора оказывается недостаточной для рассеивания заданной мощности. Воздушный поток свободно проходит через конструкцию, не успевая забрать необходимое количество тепловой энергии от основания, что увеличивает $R_{\text{тс}}$ до $3,33$ К/Вт. При шаге около 6 мм достигается необходимый баланс: зазора достаточно для беспрепятственного развития ламинарного пограничного слоя, а суммарная площадь ребер остается максимально возможной в рамках заданного габарита. В результате полное термическое сопротивление снижается до минимальных $2,87$ К/Вт.

Таким образом, для рассматриваемой конфигурации радиатора с естественной конвекцией оптимальным является шаг 6 мм. Полученные данные подтверждают, что для систем пассивного охлаждения простое увеличение площади поверхности не всегда ведет к улучшению теплового

режима. Численное моделирование на ранних этапах проектирования позволяет выявить данные нелинейные зависимости и определить рациональные параметры охлаждающих устройств.

Литература

1. Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры / Л. Л. Роткоп, Ю. Е. Спокойный. – М.: Сов. радио, 1976. – 230 с.

УДК 374.3

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ RFID ТЕХНОЛОГИЙ

Ст. преподаватель Ковынев Н. В.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

В последние годы развитие RFID технологий характеризуется переходом от локально изолированных решений к интегрированным цифровым системам, которые функционируют в рамках концепции Интернета вещей и цифровой трансформации предприятий. Данная технология все чаще рассматривается не только как средство идентификации, но и как источник данных для различных систем управления.

Одной из ключевых тенденций является интеграция RFID с платформами Интернета вещей. В данных архитектурах RFID-метки и их считыватели становятся элементами распределенной сети устройств, которые формируют поток данных в реальном времени. Эти данные можно использовать для мониторинга состояния объектов, анализа процессов, автоматического принятия решений. Интеграция с устройствами интернета вещей позволит при помощи RFID получать данные с различных сенсорных устройств, таких как: датчики температуры, влажности, местоположения и тому подобные, что позволит расширить функциональные возможности систем.

Совершенствование стандартов и протоколов обмена данными позволит повысить эффективность работы в условиях высокой плотности меток и непростой радиочастотной обстановки. Такие нововведения позволят сократить временные затраты на инвентаризацию, позволят снизить количество ложных срабатываний, повысят устойчивость систем к внешним воздействиям, помехам и побочным электромагнитным излучениям.

Перспективно будет использование интеллектуальных RFID-систем, где идентификационные данные можно использовать вместе с методами и технологиями машинного обучения. На основе данных, полученных при помощи RFID, возможно выявление различных закономерностей, прогнозирование поведения систем или объектов, оптимизация процессов. В качестве примера можно привести анализ потоков RFID-событий, которые могут показать загрузку логистических центров, систем массового обслуживания. При помощи полученных данных можно спрогнозировать загрузку логистики, выявить ее слабые места.

В промышленности RFID-технологии применяются в концепции цифровых двойников. В таких схемах каждый физический объект, оснащенный RFID-меткой, получает цифровое представление в информационной системе, которое регулярно обновляется на основе данных идентификации. Такая методика позволяет отслеживать состояние объектов на протяжении всего жизненного цикла, проводить анализ эксплуатационных данных, производить техническое обслуживание и ремонт, защищать систему от поддельных или несертифицированных компонентов.

В рамках информационной безопасности технологии RFID можно использовать при разработке и внедрении более совершенных механизмов аутентификации, управления доступом, криптографической защиты информации. Помимо этих нововведений, усиливается внимание к правовым аспектам данных технологий, которые связаны с защитой персональных данных, соблюдением нормативных требований, что способствует более ответственному внедрению технологии. В информационной безопасности, как и в промышленности технологии RFID, могут помогать выявлять несертифицированные или поддельные компоненты информационных систем, некачественные или непрошедшие сертификацию программно-аппаратные компоненты систем защиты и обработки информации. Проверка лицензионного или сертифицированного программного обеспечения также возможно при помощи использования RFID-меток, при помощи которых можно отслеживать весь путь поставки программного обеспечения, чтобы можно было выявить контрофактные копии.

Таким образом современные тенденции развития RFID-технологии показывают ее эволюцию от средства идентификации к ключевому элементу цифровых систем. Интеграция с технологиями Интернета вещей, аналитикой и интеллектуальными системами управления открывает новые возможности для повышения эффективности технологии.

Литература

1. Власов, М. RFID. 1 технология – 1000 решений. Практические примеры использования RFID в различных областях / М. Власов. – М., 2015. – 320 с.
2. Куликов, М. М. Перспективы использования RFID-технологий в России / М. М. Куликов, М. А. Комиссарова, И. А. Назарова // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2023. – № 4 (80). – С. 190–197.
3. Хорошилова, Т. Н. RFID-метки в действии: примеры внедрения и оптимизации логистики на реальных примерах / Т. Н. Хорошилова // Актуальные исследования. – 2022. – № 15 (94). – URL: <https://apni.ru/article/3985-rfid-metki-v-dejstvii-primery-vnedreniya-i-optimizaczii-logistiki-na-realnyh-primerah> (дата обращения: 28.02.2026).

УДК 681

ИОНИЗАЦИОННЫЙ ДАТЧИК (ИЗВЕЩАТЕЛЬ) ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ В МОТОРНОМ ОТСЕКЕ АВТОМОБИЛЯ

Студенты гр. 11301123 Козловский И. А., Смоленчук А. П.
Ст. преподаватель Василевский А. Г., ст. преподаватель Третьяк И. Б.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы – повышение эффективности работы системы пожаротушения в моторном отсеке автомобиля.

Согласно статистике пожаров на автомобилях, наибольшее количество пожаров возникает в моторном отсеке. Это обусловлено тем, что в достаточно небольшом объеме отсека сконцентрированы узлы и агрегаты, преобразующие все виды энергии (от химической до механической). Все эти источники и преобразователи соединены в единую действующую систему, агрегаты и механизмы которой скомпонованы в непосредственной близости друг от друга и нагреваются до относительно высоких температур.

Практика показывает, что в подавляющем большинстве случаев возгорание происходит путем самовоспламенения или вынужденного воспламенения. Сложность в ликвидации возгорания в моторном отсеке определяется отсутствием прямого доступа к огню. Поэтому применение автоматических установок пожаротушения является одним из лучших вариантов противопожарной защиты.

Пожар в моторном отсеке автомобиля имеет характер пламенного пожара. Экзотермическая реакция окисления продуктов горения очень быстро повышает температуру в отсеке до 700–800 °С, в результате появляется пламенное свечение. Горение углерода ионизирует газовую среду, что приводит резкому изменению проводимости в области горения (пламени).

Датчик (сенсор ионизации), установленный внутри моторного отсека, совместно с электронной схемой считывает изменение сопротивления среды и вырабатывает сигнал для включения пожаротушения. Конструкция датчика приведена на рисунке 1.

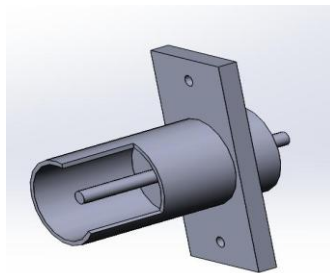


Рис. 1. Эскиз конструкции датчика (сенсора) ионизации

Конструкция датчика включает в себя цилиндрический корпус из нержавеющей стали, измерительный контакт (штырь) бронза, изолятор – фторопласт и пластина крепления – нержавеющей стали.

На рисунке 2 приведена структурная схема пламенного ионизационного извещателя.

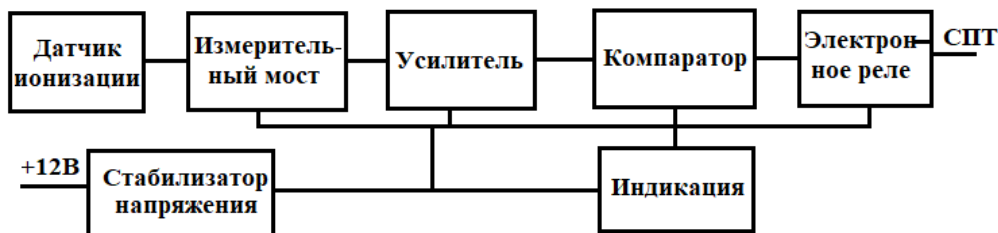


Рис. 2. Структурная схема пламенного ионизационного извещателя

Своевременное оперативное срабатывание извещателя и пожаротушения минимизирует материальный ущерб от пожара и гарантирует жизнь и здоровье водителю и пассажирам.

Устройство может быть настроено для работы на пониженный или повышенный уровень ионизации. Сухие контакты реле могут быть подключены к шлейфам пожарной сигнализации. Схема устройства, при необходимости дополняется световой и звуковой сигнализацией.

Литература

1. Шустов, М. А. Практическая схемотехника / М. А. Шустов. – М.: Альтекс-А, 2003. – Кн. 1. – 336 с.
2. Газосигнализаторы электрические для детектирования горючих газов в жилых помещениях. Общие требования и методы контроля: ГОСТ Р ЕН 50194-2008. – М.: Стандартинформ, 2008. – 12 с.

УДК:621.313.3

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ ГАЗОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Студенты гр. 11301123 Койро А. В., Кротова А. С., Леонович П. Д.

Кандидат техн. наук Исаев А. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель: выявить, классифицировать и сравнить основные технологии газовых извещателей с точки зрения принципа работы, типов обнаруживаемых газов, эксплуатационных характеристик, применимости в системах безопасности и пожарной сигнализации.

В зависимости от физического принципа работы различают следующие основные типы:

1. Полупроводниковые (MOS). Принцип действия основан на изменении электрического сопротивления чувствительного слоя оксида металла (обычно SnO_2) при взаимодействии с газом. Сенсор нагревается встроенным нагревателем, а изменение проводимости фиксируется электронной схемой. Преимущества: низкая стоимость, высокая чувствительность. Недостатки: зависимость от температуры и влажности, невысокая селективность. Применение: бытовые сигнализаторы утечки метана, пропана, CO .

2. Электрохимические. Работают на основе электрохимической реакции газа на электродах в электролите. Возникающий ток пропорционален концентрации газа. Преимущества: высокая точность, селективность, линейный выходной сигнал. Недостатки: ограниченный срок службы (износ электролита), необходимость калибровки. Применение: контроль CO , H_2S , O_2 в жилых и промышленных условиях.

3. Каталитические (pellistor). Основаны на окислении горючего газа на поверхности каталитического элемента, нагретого до высокой температуры. Выделяющееся тепло изменяет сопротивление чувствительного элемента. Преимущества: надежность при обнаружении горючих газов (LEL). Недостатки: высокий расход энергии, деградация катализатора. Применение: промышленная безопасность, нефтегазовая отрасль.

4. Инфракрасные (NDIR). Принцип основан на поглощении инфракрасного излучения молекулами газа на характерных длинах волн. Измеряется ослабление сигнала и вычисляется концентрация. Преимущества: высокая селективность, долгий срок службы, устойчивость к отравлению. Недостатки: более высокая стоимость. Применение: контроль CO_2 , углеводородов, вентиляционные системы.

5. Лазерные (спектроскопические). Используют методы лазерной спектроскопии (например, TDLAS) для точного измерения концентрации газа по спектральным линиям поглощения. Преимущества: высокая чувствительность и точность. Недостатки: сложность и высокая стоимость. Применение: научные исследования, экологический мониторинг.

Вывод: в работе представлен анализ существующих типов газовых извещателей, используемых в системах безопасности и пожарной сигнализации. Рассмотрены пять основных технологий. Сделан вывод о том, что выбор конкретного типа газового извещателя зависит от условий эксплуатации, требуемой точности измерений и вида контролируемого газа. Наиболее доступными являются полупроводниковые датчики, наиболее точными – электрохимические и лазерные, а для контроля горючих газов в промышленности предпочтительны каталитические и инфракрасные извещатели.

Литература

1. Figaro Engineering Inc.: [сайт]. – URL: <https://www.figaro.co.jp> (дата обращения: 28.02.2026).
2. SGX – Industrial // SGX Sensortech: [сайт]. – URL: <https://www.sgxsensortech.com> (дата обращения: 28.02.2026).
3. Environmental Monitoring Solutions // LI-COR Biosciences: [сайт]. – URL: <https://www.licor.com> (дата обращения: 28.02.2026).

УДК 621.313.3

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ГАЗОВЫЙ СЕНСОР TGS3870 (CH₄/CO)

Студенты гр. 11301123 Койро А. В., Кротова А. С., Леонович П. Д.

Кандидат техн. наук Исаев А. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является исследование конструкции и принципа действия полупроводникового газового сенсора TGS3870 Methane/Carbon Monoxide Gas Sensor, анализ его электрических и эксплуатационных характеристик, а также оценка возможности его применения в системах контроля утечки газа и противопожарной защиты.

TGS3870 – это полупроводниковый газовый сенсор, разработанный компанией Figaro Engineering Inc. для обнаружения метана (CH₄) и угарного газа (CO) в воздухе. Датчик относится к классу MOS-сенсоров (Metal Oxide Semiconductor) и применяется преимущественно в бытовых и промышленных сигнализаторах утечки газа. Материал корпуса – пластик ABS по ГОСТ 33366.1-2015 [1].



Рис. 1. Общий вид полупроводникового газового сенсора TGS3870

Сенсор выполнен в компактном корпусе и содержит чувствительный элемент на основе оксида металла, нанесенного на керамическую подложку. Внутри размещен миниатюрный нагреватель, обеспечивающий рабочую температуру чувствительного слоя. Нагрев необходим для поддержания химической активности поверхности сенсора и стабильности показаний.

Газовый сенсор содержит миниатюрную сферическую «micro-bead» структуру, которая при подаче напряжения нагревателя находится в рабочем тепловом режиме. При контакте реагирующих газов с поверхностью оксида металла происходит изменение его проводимости: восстановительные газы (метан и CO) восстанавливают адсорбированные кислородные ионы, увеличивая концентрацию свободных электронов и тем самым снижая сопротивление сенсорного слоя. Это изменение измеряется внешней схемой как изменение сопротивления (ΔR), пропорциональное концентрации газа [1].

Датчик подходит для использования как часть комбинированного газового детектора (например, устройства безопасности в доме), но он не является готовым автономным извещателем пожарной сигнализации. Для интеграции в систему безопасности его необходимо подключить к схеме с микроконтроллером, предусмотреть обработку сигнала, температурную компенсацию, фильтрацию и калибровку [2].

В работе проведено исследование полупроводникового газового сенсора TGS3870, предназначенного для одновременного обнаружения метана (CH₄) и угарного газа (CO). Рассмотрена

конструкция сенсора, выполненного в компактном корпусе с микрошариковым (micro-bead) чувствительным элементом на основе оксида металла и встроенным нагревателем. Описан принцип действия, основанный на изменении электропроводности полупроводникового слоя при контакте с восстанавливающими газами, а также особенности циклического режима нагрева для селективного определения CH_4 и CO . Проанализированы электрические и эксплуатационные характеристики датчика.

Литература

1. TGS3870 // Figaro Sensor: [сайт]. – URL: <https://www.figarosensor.com/product/entry/tgs3870.html> (дата обращения: 27.02.2026).
2. Figaro TGS3870-B00 Methane, Carbon Monoxide Air Quality Sensor for Combination Methane and Carbon Monoxide Detectors // RS Delivers. – URL: <https://tr.rsdelivers.com/product/figaro/tgs3870-b00/figaro-tgs3870-b00-methane-carbon-monoxide-air-for> (дата обращения: 27.02.2026).

УДК 666.233

ДЕТОНАЦИОННЫЕ АЛМАЗЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Магистрант гр. 61315025 Колядко Я. А., инженер Петрицкая Н. Д.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современная электронная аппаратура (процессоры, силовая электроника, СВЧ-устройства) характеризуется высокой плотностью мощности, что приводит к значительному тепловыделению. Перегрев снижает надежность, проводимость и срок службы компонентов. Традиционные материалы для теплоотвода (алюминий, медь, керамика) приближаются к своим термическим пределам. Возникает необходимость в новых материалах с высокой теплопроводностью, низким коэффициентом теплового расширения и возможностью миниатюризации системы охлаждения.

Целью работы являлось изучение применения детонационных алмазов для увеличения теплопроводности печатных плат.

Для реализации теплоотвода печатных плат в основном используется: эпоксидные смолы и стекла (FR4, PTFE и полиимид). В основном используется FR4 (Flame Retardant (огнестойкий) для массового производства печатных плат. Однако в этом случае теплопроводность печатных плат очень низкая по сравнению с альтернативными материалами; керамика (оксид алюминия, нитрид алюминия и оксид бериллия) Керамика обеспечивает гораздо более высокую теплопроводность, чем эпоксидные смолы и стекла; металлы (медь и алюминий). В основном используется алюминий для изготовления печатных плат с металлическим сердечником. Металлы обладают более высокой теплопроводностью, чем эпоксидные смолы и стекла, и у них разумная стоимость производства. Поэтому они довольно эффективны для приложений, требующих воздействия термоциклирования и требующих рассеивания тепла [1].

Детонационные алмазы – наноразмерные алмазные частицы (4–10 нм), синтезируемые взрывным методом. Они обладают уникальными свойствами: высокая теплопроводность (до 1000–2000 Вт/мК); низкий коэффициент теплового расширения (близких к кремнию, GaAs); высокая электропрочность и химическая стабильность; возможность формирования теплопроводящих покрытий, паст, компонентов [2]. Частицы детонационных алмазов способны образовывать в жидкостях устойчивые коллоидные системы – золи (изолированные наночастицы) и гели (структурированные сетки из наночастиц). Это свойство является ключевым для создания наножидкостей с улучшенным теплообменом [3].

Проводилось исследование в области применения детонационных алмазов. Изучалось возможность создания композиционных материалов на основе полимеров с добавками детонационный алмаз-медь, детонационный алмаз-полимер, изучалось нанесение алмазных покрытий на радиаторы, чипы и корпуса приборов. Исследовались механизмы теплопередачи на границах разделов фаз в нанокompозитах.

Литература

1. Теплопроводность печатных плат // МОКО Technology. – URL: <https://www.mokotechnology.com/ru/pcb-thermal-conductivity-and-its-importance/> (дата обращения: 22.02.2026).
2. Плотников, В. А. Детонационный алмаз: монография / В. А. Плотников, Д. Г. Богданов, С. В. Макаров; М-во образования и науки РФ, Алтайский гос. ун-т. – Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2014. – 222 с.
3. Detonation nanodiamonds. Structure and properties / Detonation nanodiamonds in a liquid medium. Sols and gels // Объединенный институт ядерных исследований. – URL: <https://www.jinr.ru/posts/62473/> (дата обращения: 23.02.2026).

УДК 621.313.3

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АДРЕСНЫЕ ОХРАННЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ

Студенты гр. 11301123 Кротова А. С., Леонович П. Д., Койро А. В.

Кандидат техн. наук Исаев А. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные системы безопасности широко полагаются на ультразвуковые датчики для обнаружения движения с помощью анализа эхо-сигналов. Интегрируя адресные охранные извещатели в системы контроля доступа и сигнализации, мы разрабатываем узел, который будет не только регистрировать, контролировать и передавать извещения, но и значительно снизит количество ложных срабатываний, а также обеспечит экономичную передачу данных.

Ультразвуковой адресный охранный извещатель – это интеллектуальный датчик движения, использующий ультразвуковые волны (более 20 кГц) для объемной защиты помещений. Он излучает звук, анализирует отражения (эффект Допплера) и передает сигнал тревоги с уникальным адресом на контрольную панель, позволяя точно определить место нарушения.

Принцип работы извещателя: Извещатель работает по принципу активной локации. Пьезоэлектрический излучатель приемопередатчика генерирует в контролируемой зоне ультразвуковые волны определенного диапазона. Извещатель непрерывно контролирует параметры этого ультразвукового поля. Когда в охраняемой зоне появляется человек, механические колебания в воздушной среде меняются, соответственно изменяются характеристики поля. Если параметры отклоняются от нормы, извещатель формирует сигнал тревоги. Извещатель анализирует амплитуду, частоту и временные характеристики принимаемого сигнала. Извещатель объемный ультразвуковой фиксирует несанкционированное проникновение в объемную охраняемую зону. Объемную зону обнаружения создают характеристики направленности приемника и излучателя. Величину зоны можно регулировать при помощи набора встроенных переключателей [1].



Рис. 1. Ультразвуковой адресный охранный извещатель

Благодаря методике объемного обнаружения, основанной на отражении ультразвуковых волн, «слепые зоны» минимизированы, поскольку вся зона заполняется волнами, отраженными от стен и предметов. Ультразвуковые волны не покидают пределов охраняемого помещения, что гарантирует отсутствие реакции на движения снаружи и предотвращает ложные срабатывания. Извещатель не подвержен влиянию солнечного света, ярких ламп, света фар и радиопомех, что обеспечивает его стабильную работу. Возможность регулировки чувствительности и дальности обнаружения позволяет точно настроить прибор под конкретные условия. Кроме того, ультразвуковой извещатель способен обнаружить начало пожара, что дает шанс оперативно его предотвратить.

Литература

1. Ультразвуковые охранные извещатели // Unibelus.by. – URL: <https://www.unibelus.by/items/g9344-okhrannye-izveshateli/g9353-ultrazvukovye> (дата обращения: 03.03.2026).

УДК 681

РЕГУЛИРОВКА СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Студент гр. 31303122 Крупенко А. Д.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Преобразователь частоты – это устройство, предназначенное для регулирования скорости вращения электродвигателя посредством изменения частоты питающей сети. Эти устройства широко применяются в системах, где нужна точная регулировка скорости вращения электродвигателя. Пример применения преобразователей частоты с оборудованием, которое постоянно используется в быту – насосы водоснабжения и отопления. Устройства регулируют подачу воды в зависимости от расхода или температуры, плавно запускают и останавливают агрегаты для исключения гидравлических ударов.



Рис. 1. Преобразователи частоты

Внешне частотный преобразователь представляет собой компактный бокс (по размеру, как небольшой стабилизатор напряжения или ИБП), выполненный из пластика или металла. В основном корпус обладает защитой IP20.

Внутри бокса два компонента – силовой блок с питанием от напряжения 220/230 В или 380/400 В и блок управления с питанием 10–24 В постоянного тока.

Силовой блок состоит из:

- выпрямителя (диодного моста), задача которого в преобразовании переменного тока в постоянный;
- шины постоянного тока (конденсаторов) – устраняет поступающие из сети пульсации напряжения;
- инвертора (силовых IGBT-транзисторов) – преобразует постоянный ток обратно в переменный, генерируя импульсы определенной формы. Определяет частоту вращения двигателя.

Управляющий блок (микропроцессор) соединен с панелью управления на корпусе устройства (управляет силовой платой – выполняет обработку поступающих с датчиков сигналов, регулирует вращение ротора электродвигателя и осуществляет аварийное отключение нагрузки при возникновении угроз в электросети) [1].

В бытовых условиях в основном применяются электронные частотные преобразователи, которые позволяют управлять электродвигателем ручным или автоматическим способом, заранее установив на дисплее устройства подходящие параметры функционирования.

По сути, частотные преобразователи являются промежуточными звеньями между электросетью и нагрузкой с электродвигателем. В зависимости от модели они могут подключаться к трехфазной или однофазной сети (некоторые изделия в своем составе имеют гальваническую развязку). Устанавливаются перед нагрузкой. Могут крепиться на корпус агрегата, устанавливаться на стене или в отдельном закрытом электрощите, например, если в месте применения повышенная влажность или запыленность.

Современные модели частотников работают на основе технологии двойного преобразования.

Процесс работы устройств осуществляется следующим образом:

- 1) поступающее из сети напряжение выпрямляется, при этом нивелируются гармонические искажения, незначительные скачки и просадки напряжения;

2) затем сигнал вновь становится переменным, но он уже со стабильным вольтажом, чистой синусоидой и определенным значением частоты, которое требуется для электродвигателя [2].

Литература

1. Преобразователи частоты: принцип работы, способы управления, применение // ОВЕН. – URL: https://owen.ru/poleznye_materialy/preobrazovateli_chastoty_princip_raboty_sposoby_upravleniya_primenenie/ (дата обращения: 03.03.2026).

2. Частотные преобразователи: принцип работы и назначение // ШТИЛЬ. Системы электропитания. – URL: <https://www.shtyl.ru/support/articles/chastotnye-preobrazovateli-princip-raboty/> (дата обращения: 03.03.2026).

УДК 681

КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Студенты гр. 11312122 Крюков А. Н., Паршенков Д. А.

Кандидат техн. наук, доцент Воробей Р. И., ст. преподаватель Куклицкая А. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Капиллярный метод неразрушающего контроля основан на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в поверхностные и сквозные дефекты. С помощью капиллярного контроля определяется расположение дефектов, их протяженность и ориентация на поверхности. Метод широко применяется в полевых условиях, при необходимости технического обследования сооружений: мостов, грузоподъемных кранов, трубопроводов и сосудов под давлением [1].

Цель работы: выбор дефектоскопических наборов для капиллярного контроля сварных соединений у трубопроводов из доступных в Республике Беларусь.

Дефектоскопические материалы для капиллярного контроля используются в виде наборов, включающих индикаторный пенетрант, очиститель объекта контроля от пенетранта и проявитель индикаторного следа дефекта. Для контроля свариваемых изделий и сварных швов применяют готовые дефектоскопические наборы в виде аэрозолей. Составы таких наборов не должны вызывать коррозию и удаляются после контроля [2].

На территории Республики Беларусь распространены такие производители капиллярных наборов, как MR Chemie, Helling, Крафтест и Элитест. Проведем сравнение пенетрантов из наборов рассматриваемых фирм.

MR Chemie 312 – красный флуоресцентный пенетрант немецкого производства. Температура использования – от -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Уровень чувствительности: 2 в соответствии с ИСО3452 [3].

Helling U88 – красный пенетрант немецкого производства. Температура использования – от -10°C до $+100^{\circ}\text{C}$. Уровень чувствительности: 2 в соответствии с ИСО3452.

КРАФТЕСТ ПенРедО-1 – красный пенетрант производства РФ. Температура использования – от -5°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Уровень чувствительности: 2 в соответствии с ИСО3452 [4].

Элитест П42 красный пенетрант производства РФ. Температура использования – от -10°C до $+100^{\circ}\text{C}$. Уровень чувствительности: 2 в соответствии с ИСО3452.

Все из рассмотренных наборных пенетрантов обладают чувствительностью класса 2 по ИСО3452 (1–10мкм), что подходит для проверки сварных швов трубопроводов. Немаловажным критерием является температура использования. Так, согласно инструкции по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений магистральных трубопроводов ОАО «Газпром» указывается диапазон от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$. Максимально близким к данному диапазону является MR Chemie 312, затрагивающий весь диапазон температур окружающей среды в РБ.

Важным фактором при выборе дефектоскопического набора также является его доступность. В то время как наборы Элитест и Крафтест можно приобрести по низкой цене в широком доступе, наборы MR Chemie приобретаются только под заказ и по договорной цене, а Helling можно найти у единичных поставщиков и только оптовыми партиями.

Таким образом по температурному диапазону и доступности в Республике Беларусь целесообразно использовать дефектоскопические наборы MR Chemie

Литература

1. Капиллярный метод контроля и диагностики // NDT Solutions. – URL: <https://ndt-solutions.by/articles/general/kapillyarnyy-metod-kontrolya-i-dagnostiki/> (дата обращения: 10.02.2026).

2. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов. – М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2006. – 123 с.

3. Продукция MR Chemie // NDT Solutions. – URL: <https://ndt-solutions.by/product/Capillary%20control/raskhodnye-materialy-dlya-kapillyarnogo-kontrolya/mr-chemie/> (дата обращения: 15.02.2026).

4. Капиллярный контроль // NDV Komplekt. – URL: <https://svarshik.by/catalog/sredstva/kapillyarnyj/> (дата обращения: 18.02.2026).

УДК 535.215.6

ФОТОЭФФЕКТ И ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Студент гр. 10903325 Кулак Е. Ю.

Д-р физ.-мат. наук, профессор Князев М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Понятие фотоэффекта. Внешний фотоэффект является одним из важнейших физических явлений, сыгравших ключевую роль в развитии современной науки и технологий. Он представляет собой процесс испускания электронов с поверхности материала при воздействии электромагнитного излучения определенной частоты.

Данный эффект был впервые замечен в конце XIX века, а его теоретическое объяснение привело к революционным изменениям в физике, разработке и созданию квантовой механики.

Законы фотоэффекта. Законы Столетова. 1887 году немецкий физик Г. Герц при излучении электромагнитных волн в экспериментах с разрядником обнаружил явление усиление разряда при его освещении. Так был обнаружен внешний фотоэффект. Исследования фотоэффекта, проведенные А. Столетовым (1888), установили следующие его закономерности:

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от интенсивности падающего светового потока.

2. Величина фототока насыщения, определяемая максимальным числом фотоэлектронов, вырывающихся из вещества за единицу времени, прямо пропорциональна интенсивности падающего на вещество излучения.

3. Если частота света меньше некоторой определенной для данного вещества минимальной частоты, фотоэффект не возникает. При этом величина «запирающего потенциала» (напряжения, задерживающего испускание фотоэлектронов), линейно возрастает с частотой излучения и не зависит от его интенсивности.

Указанные закономерности были подтверждены последующими исследованиями Ленарда (1900), Ричардсона и Комптона (1912), а также Милликена (1916). Однако волновая теория света не могла в то время объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока и существование его «красной границы». Теоретическое объяснение этих особенностей с позиций квантовой теории дал А. Эйнштейн в 1905 году. Он записал баланс энергии при фотоэффекте через энергию кванта излучения, названного впоследствии фотоном.

Применение фотоэффекта. Фотоэффект широко применяется в различных областях науки и техники. Среди наиболее известных его применений можно указать следующие:

1. Фотоэлектронные умножители. Это электровакуумные приборы, в которых испускаемый катодом поток электронов усиливается за счет воздействия на него оптического излучения.

2. ПЗС матрица. Эти устройства представляют собой светочувствительную пленку, состоящую из большого количества пикселей на основе полупроводников. При облучении полупроводникового пикселя из валентной зоны выбиваются электроны, интенсивность потока которых зависит от мощности светового источника. Для различения цветов в матрице используются специальные фильтры с тремя основными градациями – красным, зеленым и синим.

3. Компьютерная томография. Отдельные фотоны рентгеновского излучения, после проникновения в тело человека регистрируются детектором. Однако в существовавших до сих пор томографах рентгеновские лучи не улавливаются непосредственно в детекторе, а сначала преобразуются в сигналы видимого света, которые затем попадают на фотодиод, где преобразуются в электрические сигналы. Компьютерная томография с режимом счета фотонов обладает рядом положительных характеристик, которые благоприятно сказываются на лечении пациентов.

Наиболее актуальным в современных исследованиях является медико-биологическое применение фотоэффекта. Это явление используется для разработки фоторецепторов. Данные устройства предназначены для использования в глазах животных и человека для восприятия света.

Они играют важную роль в зрительной системе и представляют возможность увидеть окружающий мир людям, имеющим проблемы со зрением.

Литература

1. Гулиев, М. Ю. Внешний фотоэффект и его значение в современной физике / М. Ю. Гулиев // Форум молодых ученых. – 2025. – № 6 (106). – С. 113–115.
2. Эткин, В. А. Переосмысление основ квантовой механики / В. А. Эткин // Проблемы современной науки и образования. – 2018. – № 12 (132). – С. 6–14.

УДК 629.12

НАЧАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Магистрант гр. 140351/02 Куракова М. С.

Д-р техн. наук., профессор Матвеев В. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Из источника [1], основой построения систем управления или пилотажно-навигационных комплексов подвижных объектов различных классов и применений являются инерциальные навигационные системы (ИНС) – система для автономного определения положения и ориентации объекта в пространстве, широко распространенные за счет своей автономности, помехозащищенности, высокой частоты выдачи и широкого объема навигационной информации.

Согласно [2], начальная выставка инерциальной навигационной системы – это процесс определения углового положения подвижного объекта по отношению к географической системе координат в период подготовки бесплатформенной ИНС (БИНС) к запуску. Начальная выставка может быть автономной (основана на использовании информации только от инерциальных датчиков – гироскопов и акселерометров) и с привлечением информации от других навигационных систем (например, магнитометров, систем спутниковой навигации и др.). Далее приведены определения углов ориентации начальной выставки.

Угол рыскания ψ – это угол, который отсчитывается в горизонтальной плоскости OX_gZ_g от оси OX_g против хода часовой стрелки до проекции продольной оси объекта на эту плоскость и лежит в диапазоне $(-\pi, \pi]$. Вместо рыскания часто вводят угол курса K , который отсчитывается так же, как угол рыскания, но по часовой стрелке и лежит в диапазоне $[0, 2\pi)$.

Угол тангажа θ отсчитывается в вертикальной плоскости между осью OX и ее проекцией на горизонтальную плоскость и лежит в диапазоне $[-\pi/2, \pi/2]$.

Угол крена γ отсчитывают в поперечной плоскости между осью OZ и линией пересечения указанной плоскости с плоскостью горизонта и лежит в диапазоне $(-\pi, \pi]$ [3].

В ходе работы была рассмотрена литература по алгоритмам решения начальной выставки: автономный алгоритм, метод векторного согласования, компасный метод, метод радиопеленга и метод спутниковой навигации.

Для реализации был выбран автономный алгоритм начальной выставки в самолетной системе координат (ось OX – продольная ось, OZ – поперечная ось, OY – ось, которая перпендикулярна двум другим и направлена вертикально вверх), где была использована матрица направляющих косинусов. Матрица направляющих косинусов соответствует поворотам на углы тангажа и крена. С помощью этой матрицы были определены соотношения для углов тангажа, крена и курса.

Данный алгоритм был реализован в математическом пакете *Mathcad* и на языке программирования *Python*. Для этого были использованы реальные показания кольцевого лазерного гироскопа по оси X , Y , Z и кварцевого акселерометра по оси X , Y , Z . Результаты были переведены в самолетную систему координат. Показания гироскопов были переведены из $^\circ/\text{такт}$ в $^\circ/\text{с}$. Были построены графики этих значений, найдены средние значения этих показаний, по показаниям гироскопов находилась полная угловая скорость Земли и сравнивалась с ГОСТ на ПЗ-90. По найденным осредненным значениям и выведенным соотношениям были определены углы тангажа, крена и курса. Была показана сходимость алгоритма по накопленным средним значениям для приборов и углов – полученные графики стремились к одному значению, равному среднему значению показаний приборов и углов.

Литература

1. Наумченко, В. П. Современный подход построения алгоритма начальной выставки инерциальных навигационных систем платформенного класса / В. П. Наумченко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2022. – № 9. – С. 51–58.
2. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии: монография / Б. С. Алешин [и др.]; под общ. ред. Б. С. Алешина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. – М.: Физматлит, 2006. – 422 с.
3. ГОСТ 20058-80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения и обозначения. – Введ. 01.07.1981. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 52 с.

УДК:621.313.3

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ ИО408-5 «ЭХО-5»

Студенты гр. 11301123 Леонович П. Д., Койро А. В., Кротова А. С.

Кандидат техн. наук Исаев А. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель: исследовать конструкцию и принцип работы ультразвукового извещателя ИО408-5 «ЭХО-5», анализ его эксплуатационных особенностей, а также оценка его применимости в системах охранной безопасности.

Извещатель охранной объемный ультразвуковой ИО408-5 «Эхо-5» предназначен для обнаружения движения нарушителя в охраняемой зоне с последующей выдачей извещения о тревоге на пульт централизованного наблюдения, систему передачи извещений или прибор приемно-контрольный размыканием шлейфа сигнализации контактами исполнительного реле. Предназначен для автономной или централизованной охраны зданий и сооружений различного типа (например, офисы, банки, складские помещения, жилые дома) от несанкционированного проникновения. Конструкция извещателя не предусматривает его использование в условиях воздействия агрессивных сред, пыли, а также во взрывопожароопасных помещениях [1].

Извещатель формирует в охраняемом помещении сплошную объемную зону обнаружения, когда нарушитель проникает в эту зону то создает возмущения, которые по закону Доплера меняют частоту волны, что фиксирует приемник и формирует сигнал тревоги. Извещатель формирует извещение о тревоге размыканием контактов исполнительного реле, а извещение о вскрытии корпуса – размыканием контактов микровыключателя, также в извещателе предусмотрена световая индикация режимов работы и помеховых воздействий, управление режимами индикации в зависимости от принятой тактики охраны на объекте, отключение индикации при необходимости маскирования извещателя, контроль соответствия напряжения электропитания извещателя установленному диапазону, защита от несанкционированного вскрытия корпуса, кварцевая стабилизация рабочей частоты, обеспечивающая возможность использования в одном охраняемом помещении нескольких извещателей данного типа, антисаботажную защиту [1].

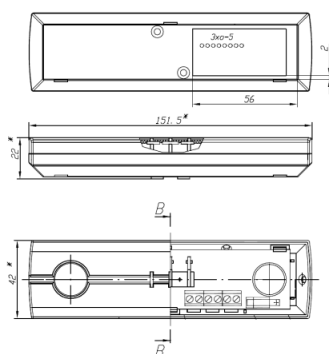


Рис. 1. Общий вид извещателя «ЭХО-5»

Вывод: в работе представлен анализ существующего ультразвукового извещателя ИО408-5 «ЭХО-5» предназначенного для обнаружения несанкционированного проникновения в охраняемую зону, рассмотрены особенности конструкции и принцип работы извещателя, рассмотрены эксплуатационные особенности.

Литература

1. Извещатель охранной объемный ультразвуковой ИО408-5 «Эхо-5»: руководство по эксплуатации / ЗАО НВП «Болид». – М., 2018. – 12 с.

УДК:621.313.3

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты гр. 11301123 Леонович П. Д., Койро А. В., Кротова А. С.

Кандидат техн. наук Исаев А. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель: рассмотреть существующие типы ультразвуковых извещателей, классифицировать и сравнить их по принципу работы, среде применения, конструктивному исполнению и интеграции в системы охранной безопасности.

Ультразвуковой извещатель – это электронный прибор, формирующий уведомление о тревожном событии, вызванном изменениями показателей поля акустических волн с очень высокой частотой – выше 20 кГц [1]. Принцип работы ультразвукового извещателя основан на эффекте Доплера – извещатель создает в охраняемой зоне стоячую волну, при появлении и движении нарушителя внутри этой зоны он создает возмущения, которые влияют на частоту отраженной волны и фиксируются приемником, который формирует сигнал тревоги, такие извещатели называются Доплеровскими. Существуют комбинированные ультразвуковые извещатели (двойной технологии) – ультразвуковой канал комбинируют с другими принципами обнаружения. Сигнал тревоги формируется только при последовательном срабатывании обоих каналов (логика «И») [2]. Ультразвуковые извещатели могут располагаться в закрытых помещениях и на открытых площадках (встречаются реже в связи с нестабильностью воздушной среды и погодных условий). Также современные модели имеют в наличии системы антимаскинга – защита от попыток экранирования или глушения датчика. Ультразвуковые датчики также классифицируются по конструктивному исполнению:

1. Однопозиционные. Передатчик (излучатель) и приемник находятся в одном корпусе. Преимущества: более простой монтаж, более простая настройка, низкая стоимость, наиболее распространенные. Недостатки: наличие мертвых зон, ограниченная зона контроля, подверженность самовоздействию. Применение: квартиры, офисы.

2. Двухпозиционные. Передатчик и приемник выполнены в виде разных блоков. Преимущества: формирование «активного барьера», высокая помехозащищенность к воздушным потокам, отсутствие слепых зон по направлению. Недостатки: высокая сложность монтажа, высокая стоимость, ограниченная зона перекрытия.

3. Многопозиционные. Системы, состоящие из более чем двух блоков (например, один передатчик и несколько приемников). Преимущества: различные формы зон обнаружения, гибкость конфигурации, высокая помехоустойчивость. Недостатки: высокая сложность монтажа, высокая стоимость, сложная обработка сигнала, избыточность. Применение: периметр помещения, коридоры, сейфы, экспонаты и иные охраняемые предметы.

Вывод: в работе представлен анализ существующих типов ультразвуковых извещателей, используемых в системах безопасности. Рассмотрен основной принцип работы и различные виды конфигураций. Сделан вывод о том, что выбор конкретной конфигурации ультразвукового извещателя зависит от условий эксплуатации, требуемой точности измерений, количества ложных срабатываний и цены изделия. Наиболее доступными являются Доплеровские однопозиционные извещатели, наиболее точными – двухпозиционные, а для обеспечения безопасности на режимных и особо важных объектах со сложной структурой – многопозиционные.

Литература

1. Ультразвуковой извещатель // CSAT SATELLITE. – URL: https://www.csat.ru/glossarium/ultrazvukovoy_izveshchatel/ (дата обращения: 28.02.2026).

2. PATROL USM // A112. – URL: https://a112.ru/index.php?route=product%2Fproduct&product_id=3813 (дата обращения: 28.02.2026).

3. Классификация технических средств охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации: приложение 2 (справочное) // ГАРАНТ. – URL: <https://base.garant.ru/5369000/f7ee959fd36b5699076b35abf4f52c5c/> (дата обращения: 28.02.2026).

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СИСТЕМ

Студент гр. 11301125 Лещеня С. А.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Освоение Арктики требует применения современных методов геологоразведки. Использование БПЛА для магниторазведки и аэрофотосъемки позволяет значительно снизить стоимость и сроки проведения работ. Однако ключевым ограничивающим фактором эксплуатации дронов в зимний период является резкое падение емкости стандартных Li-Pol аккумуляторов. Проведем анализ причин потери работоспособности аккумуляторов при низких температурах. Основным элементом любой аккумуляторной батареи является электролит. При понижении температуры окружающей среды вязкость электролита возрастает, что приводит к увеличению внутреннего сопротивления аккумулятора. Согласно закону Ома, для полной цепи [1]:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r},$$

где ε – ЭДС источника, R – внешнее сопротивление, r – внутреннее сопротивление источника. Увеличение внутреннего сопротивления r ведет к уменьшению силы тока I в цепи, что снижает мощность силовой установки БПЛА.

Критическим параметром является температура замерзания электролита, которая зависит от его плотности. В табл. 1 приведены справочные данные, иллюстрирующие эту зависимость [2].

Из анализа табл. 1 следует, что, например, при плотности электролита 1,28 г/см³ температура замерзания равна –74 °С. Но в реальных условиях эксплуатации при низких температурах происходит не полное замерзание, а значительное загустение электролита, являющееся основной причиной потери емкости. Современные низкотемпературные Li-Pol аккумуляторы используют модифицированный электролит (например, с добавлением метилацетата) или гелеобразные полимерные составы, что позволяет сохранять ионную проводимость при температурах до –40 °С. Это критически важно для беспилотных геологоразведочных систем, работающих в Арктике. Использование данных батарей гарантирует стабильную работу измерительного оборудования и увеличивает продолжительность полетного задания в зимний период.

Таблица 1 – Зависимость температуры замерзания электролита от плотности [1]

Плотность электролита при 25 °С, г/см ³	Температура замерзания, °С	Плотность электролита при 25 °С, г/см ³	Температура замерзания, °С
1,10	–8	1,22	–40
1,12	–10	1,24	–50
1,14	–14	1,26	–58
1,15	–16	1,27	–68
1,16	–18	1,28	–74
1,17	–20	1,29	–68
1,18	–22	1,30	–66
1,19	–25	1,31	–64
1,20	–28	1,32	–57
1,21	–34	1,40	–37

Литература

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – 11-е изд. – М.: Юрайт, 2020. – 704 с.
2. Чугаев, В. Н. Влияние арктических условий на беспилотные летательные аппараты / В. Н. Чугаев. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2024. – 3 с.

УДК 004.93:681.2

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ДАТЧИКОВ

Студент гр. 11307122 Литовка А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Зайцева Е. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях роста требований к скорости и точности медицинского обследования актуальной задачей является разработка систем оперативного контроля антропометрических и физиологических показателей. Предлагаемая система позволяет одновременно определять рост, массу тела и частоту дыхания человека с последующей автоматической регистрацией данных в электронной медицинской карте.

Система включает три основных модуля: измерительный комплекс, блок обработки данных и программный интерфейс. В качестве оптического сенсора используется веб-камера с разрешением 1920×1080 пикселей, установленная на фиксированном расстоянии от плоскости, в которой располагается человек. Измерение роста выполняется по количеству пикселей, занимаемых изображением человека, с учетом калибровочного коэффициента, определяемого для заданного и фокусного расстояния камеры.



Рис. 1. Структурная схема системы оперативного контроля

Масса тела регистрируется электронными весами с интерфейсом USB, частота дыхания – посредством направленного микрофона, обрабатывающего акустический сигнал в диапазоне 0,1–2 Гц. Все датчики синхронизированы по времени, данные передаются на персональный компьютер по протоколу последовательного обмена.

Программное обеспечение, выполняет захват изображения с камеры, выделение контура человека, подсчет пикселей по вертикальной оси, прием данных с весов и спектральный анализ звукового сигнала. Результаты сохраняются в базе данных и автоматически вносятся в электронную карту пациента. На рисунке 1 представлена структурная схема системы.

Погрешность определения роста составляет $\pm 1,5$ см при расстоянии 2 м, масса тела регистрируется с точностью $\pm 0,1$ кг, частота дыхания – с точностью $\pm 0,5$ дыхательных циклов в минуту. Время полного цикла измерений не превышает 10 секунд.

Таким образом, разработанная система позволяет оперативно, с минимальным участием персонала, получать ключевые антропометрические и физиологические показатели, что особенно востребовано в условиях массовых профилактических осмотров, приемных отделений лечебных учреждений и спортивной медицины.

Литература

1. Патент RU2818482C1, МПК A61B 5/00 (2006.01). Комплекс контроля состояния человека: № 2023118710: заявлено 14.07.2023; опублик. 02.05.2024 / Никитин С. В.; заявитель Никитин С. В. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2818482C1/ru> (дата обращения: 15.01.2026).

УДК 681.2.083

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ MLP И LSTM ДЛЯ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДАННЫХ ДАТЧИКОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ И КОМПЕНСАЦИИ ГИСТЕРЕЗИСА

Аспирант Мороз А. С.

Кандидат техн. наук, доцент Тявловский А. К.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные измерительные системы предъявляют высокие требования к точности первичных преобразователей, однако многие физические принципы измерений, такие как термопары [1], магнитоупругие, тензорезистивные или емкостные эффекты, обладают нелинейностью выходной характеристики и гистерезисом, вызванным упругим последствием материалов или магнитными потерями, при этом классические аналитические методы коррекции часто сложны, требуют точного математического описания физических процессов и не учитывают динамику предыстории измерений, что ограничивает их эффективность в реальных условиях эксплуатации.

Использование нейросетевых методов открывает ряд существенных преимуществ: отпадает необходимость в сложном математическом моделировании физики процесса, поскольку нейросеть обучается непосредственно на экспериментальных данных; достигается высокая точность коррекции благодаря способности нейросетей аппроксимировать функции любой сложности; обеспечивается адаптивность системы к изменяющимся условиям и индивидуальным особенностям конкретного датчика.

Наиболее интересными к применению являются две архитектуры нейронных сетей [2]: многослойный перцептрон (MLP), используемый для аппроксимации обратной функции датчика на статических точках, что позволяет эффективно устранять плавную нелинейность, но не учитывает память материала, и сеть долгой краткосрочной памяти (LSTM), предложенная для компенсации гистерезиса благодаря чувствительности к последовательности входных сигналов, когда на вход подается не только текущее значение, но и вектор предыдущих состояний датчика, что позволяет модели предсказывать, по какой ветви петли гистерезиса движется сигнал в данный момент, и именно LSTM демонстрирует ключевое преимущество перед традиционными методами, так как гистерезис по своей природе является эффектом с памятью. Применение MLP позволяет снизить среднеквадратичную погрешность нелинейности в рабочем диапазоне измерений, использование LSTM на циклических нагружениях позволяет скомпенсировать гистерезисную составляющую погрешности, сократив ширину петли гистерезиса. MLP эффективен для гладкой коррекции, тогда как LSTM демонстрирует преимущество на перегибах характеристики и при реверсивном движении, что делает комбинированный подход наиболее перспективным для прецизионных измерений. Внедрение данных нейросетевых методов позволяет повысить точности измерений без усложнения конструкции датчика, возможность программной перенастройки под разные типы датчиков без изменения аппаратной части, а также устойчивость к старению и дрейфу характеристик благодаря возможности периодического дообучения.

Нейросетевая обработка сигналов с применением архитектур, обладающих памятью, открывает широкие возможности для создания интеллектуальных измерительных систем, позволяя перенести сложность коррекции из аналоговой части в цифровую и реализовать ее на современных микроконтроллерах, что в конечном итоге способствует развитию концепции Интернета вещей и распределенных сенсорных сетей, где требуется высокая точность при минимальных аппаратных затратах, при практически неограниченных вычислительных возможностях.

Литература

1. Мороз, А. С. Повышение точности и надежности нормирующего преобразователя сигналов термопар / 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.]. – Мн.: БНТУ, 2021. – С. 114–116.
2. Hochreiter, S. Long Short-Term Memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, № 8. – P. 1735–1780.

УДК 1612

ТЕНЗОРЕЗИСТОРЫ В ИЗМЕРЕНИИ ДАВЛЕНИЯ

Студент гр. 31303122 Нарейка А. С.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Тензорезистор представляет из себя элемент, у которого электрическое сопротивление зависит от деформации. При растяжении сопротивление увеличивается, при сжатии – уменьшается.

Тензодатчики на основе тензорезисторов обладают достаточно высокой точностью, низкой, относительно других преобразователей, стоимостью, широким температурным диапазоном работы, за счет термокомпенсации. Также обладают высокой чувствительностью, что делает их отличным вариантом для применения в датчиках давления.

В датчиках давления применяются тензорезисторы мембранного типа, в которых возможно изготовление решеток любого профиля, для достижения максимальной точности и качественного механического контакта с мембраной, что обеспечивает высокую чувствительность прибора в целом.

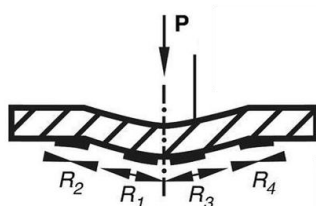


Рис. 1. Мембрана с закрепленным на ней мембранным тензорезистором

При приложении давления к мембране, она деформируется. В центре – растягивается, по краям – сжимается. Чтобы преобразовать давление в электрическую величину тензорезистор подключается в цепь измерительного моста Уитстона. Чем больше деформация мембраны, тем больше разбалансировка плеч моста. При этом полезный сигнал очень слабой амплитуды, его необходимо усилить. Усиление производится инструментальным усилителем с большим входным сопротивлением, до приемлемого значения, достаточного для дальнейшей обработки сигнала.

После усиления полезного сигнала, его преобразуют в необходимую величину, приемлемую для конечного пользователя. Это может быть ток, в виде «токовой петли», оцифрованный сигнал, в виде цифрового, частотно-манипулируемый, применяемый протоколом HART, или в виде напряжения, но такой сигнал сильно подвержен наводкам, его допускается применять только если датчик находится близко к приемнику. Кабель, по которому передается полезный сигнал должен быть экранирован.

УДК 621.3

ПОВОРОТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ

Магистрант гр. 7-06-0533-05 Нижников В. С.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Кольчевский Н. Н.

Университет Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Современные промышленные и технологические процессы невозможны без высокоточных систем мониторинга и контроля, которые обеспечивают эффективность, безопасность и автоматизацию производства. Важнейшими компонентами таких систем являются поворотные механизмы (рис. 1), выполняющие ключевую роль в преобразовании и передаче вращательного движения. Поворотные механизмы обеспечивают возможность обзора большей территории или направления. Они позволяют камерам, датчикам и другим устройствам наводиться на разные объекты или области, расширяя функциональность и повышая эффективность системы.

В системах мониторинга и контроля используются различные поворотные механизмы, выбор которого, зависит от требуемой точности, стабильности, диапазона вращения, размера образца и других факторов. Наиболее распространенными поворотными механизмами являются:

Манипулятор – тип механической руки, обычно программируемой, с функциями, аналогичными человеческой руке. Роботы-манипуляторы относятся к профессиональному оборудованию. В основном их конструкция имитирует движение предплечья и кисти человека. Главным преимуществом данных устройств является возможность выполнения работы, на которую физически не способен человек. Количество степеней свободы манипулятора обычно находится в диапазоне от 3 до 7. Для высокоточных манипуляторов точность задания может достигать 0,01–0,1 мм.



Рис. 1. Классификация поворотных механизмов

Поворотный стол – устройство, которое используется для управления движением различных объектов, таких как камеры, датчики или другие элементы системы [1]. Поворотные столы обеспечивают непрерывное вращение образца на 360° с программируемым шагом (от 0,1° до 1°). Грузоподъемность поворотных платформ варьируется от 8–10 кг до 100 кг и выше для тяжелых промышленных платформ

Гониометр – устройство, используемое для измерения углов, которое играет ключевую роль в обеспечении точного позиционирования образца. С помощью гониометров можно измерять: углы между плоскими полированными гранями призм и клиньев, углы отклонения лучей, прошедших через призмы и клинья, дисперсию прозрачных призм, параметры дифракционных решеток, спектральные характеристики различных источников оптического излучения. Диапазон вращения гониометров обычно ограничен небольшими углами. Гониометр способен возвращаться в заданное угловое положение с погрешностью до 0,01°. Грузоподъемность гониометра варьируется от 2–5 кг до 50 кг для промышленных решений.

Нанопозиционер – устройство, используемое для управления движением различных объектов с нанометровой точностью. Нанопозиционеры используются для сверхточного перемещения объектов с точностью до нанометров, в научных исследованиях, для создания квантовых компьютеров, в нейробиологии, квантовых коммуникациях, а также в производстве микроэлектроники, где важна высокая точность манипуляций [2]. Минимально возможный шаг перемещения нанопозиционера составляет менее 0,1 нм. Обычно, нанопозиционеры рассчитаны на нагрузку от нескольких грамм до 5–10 кг.

Таким образом, системы, на основе манипулятора или поворотного стола могут заметно улучшить качество и производительность выполняемых работ, при этом не требуя большого количества ресурсов на поддержание и обслуживание.

В системах, где требуется высокая точность позиционирования, рекомендуется использовать гониометр или нанопозиционер, однако, для высокоточных измерений, требуется хорошая термостабилизация объекта. Поэтому присутствие оператора и/или любых других тепловыделяющих элементов в непосредственной близости к гониометру или нанопозиционеру недопустимо. Следовательно, измерения должны быть дистанционными и автоматизированными.

Литература

1. Механизмы перспективных робототехнических систем / под ред. В. А. Глазунова, С. В. Хейло. – М.: Техносфера, 2020. – 296 с.
2. Григорьев, С. Н. Технологии нанообработки / С. Н. Григорьев, А. А. Грибков, С. В. Алешин. – Старый Оскол, 2008. – 320 с.

ВЫБОР ПЭП ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТОЛЩИНОМЕРА

Студенты гр. 11312124 Рожко А. В., Бочило И. Н.

Ст. преподаватель Куклицкая А. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современной промышленности ультразвуковая толщинометрия является основным методом неразрушающего контроля. Эффективность контроля напрямую зависит от правильного выбора пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП), который выполняет функцию преобразования электрических импульсов в акустические колебания и обратно.

Целью работы является обоснование выбора типа ПЭП для обеспечения паспортной точности ультразвукового толщиномера серии A1200 (АКС РФ).

С толщиномерами серии A1200 одинаково хорошо работают как совмещенные, так и раздельно-совмещенные преобразователи. Выбор преобразователя зависит от физических свойств объекта, его геометрии, задач контроля.

Совмещенный преобразователь S3567 частотой 4,0 МГц (рисунок 1) можно назвать универсальным преобразователем для измерения толщины, его диапазон по стали от 0,7 до 400 мм, диапазон для полиэтиленовых изделий составляет от 1 до 25 мм. Преобразователь оснащен износостойким протектором и дает следующие преимущества: 1) позволяет сканировать поверхность объекта, что бы обнаружить плавные утонения в стенке; 2) обеспечивает повышенную до 0,01 мм точность измерений толщины; 3) не требует особой ориентации на цилиндрических объектах; 4) компактный корпус в сочетании с боковым подключением кабеля позволяет проводить измерения в труднодоступных местах. В тоже время не предназначен для поиска язвенных коррозий и тестирования труб малого диаметра.

Раздельно-совмещенный преобразователь D1771 частотой 4,0 МГц (рисунок 2) работает в диапазоне толщин по стали от 0,7 до 400 мм. Данный преобразователь помимо толщинометрии, позволяет находить места язвенной коррозии, он малочувствителен к качеству поверхности и хорошо работает на очень шероховатых объектах. С другой стороны, не предназначен для сканирования стенки изделия и поиска утонения, а также не применим на трубах малого диаметра, кроме того, на цилиндрических объектах его необходимо строго ориентировать разделительной пластиной поперек направляющей трубы.

Раздельно-совмещенный преобразователь D2763 частотой 10 МГц (рисунок 3) измеряет толщины по стали от 0,7 до 30 мм, такой ограниченный диапазон связан со спецификой его задач, контроль труб малого диаметра. Применяется на неровных, ячеистых участках поверхности, используется для поиска язвенных коррозий, причем в своем диапазоне толщин обладает большей чувствительностью. К ограничениям, помимо небольшого диапазона толщин, относится высокая требовательность к подготовке поверхности, на цилиндрических объектах его необходимо строго ориентировать разделительной пластиной поперек направляющей трубы.



Рис. 1. Совмещенный преобразователь S3567



Рис. 2. Раздельно-совмещенный преобразователь D1771



Рис. 3. Раздельно-совмещенный преобразователь D2763

Таким образом, эффективность контроля толщиномерами серии A1200 напрямую зависит от правильного подбора ПЭП.

Литература

1. Толщиномеры ультразвуковые серии A1200: руководство по эксплуатации / ООО «АКС». – М., 2024. – URL: <https://acsys.ru/> (дата обращения: 01.03.2026).

УДК 666.233

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ НА ОСНОВЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ АЛМАЗОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ МЕЖКОМПОНЕНТНОЙ КОММУТАЦИИ В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Студент гр. 11312123 Ромашко Е. Д.

Кандидат физ-мат. наук, доцент Шадурская Л. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современное развитие электронной техники характеризуется устойчивой тенденцией к миниатюризации устройств и увеличению плотности интеграции элементов. Уменьшение характерных размеров проводников и активных областей микросхем требует создания измерительных методов, сопоставимых по масштабу с самими объектами исследования. Одним из перспективных решений является использование люминесценции NV-центров в детонационных наноалмазах [1]. Благодаря наноразмерным габаритам такие частицы могут применяться в качестве локальных температурных зондов и наноситься непосредственно на элементы микросэлектронных структур. Дополнительную актуальность направлению придает наличие промышленного производства детонационных наноалмазов в Республике Беларусь, что создает предпосылки для практической реализации разрабатываемых сенсорных решений.

Целью работы является рассмотрение возможности использования детонационных наноалмазов с NV-центрами для создания наноразмерного оптического термометра.

Детонационные наноалмазы представляют собой алмазные частицы, получаемые методом детонационного синтеза углеродсодержащих взрывчатых веществ в замкнутом объеме [2]. Размер частиц составляет 4–10 нм, что позволяет относить их к наноразмерным материалам. Кристаллическая структура соответствует кубической решетке алмаза [3], в объеме которой могут присутствовать точечные дефекты.

Особый интерес представляют дефекты типа «азот–вакансия» (NV-центры), формирующиеся при замещении атома углерода атомом азота и наличии соседней вакансии в решетке [1]. NV-центр создает локализованные электронные уровни внутри запрещенной зоны алмаза, что обеспечивает возможность оптических переходов в видимом диапазоне спектра [1, 3]. При возбуждении зеленым лазером с длиной волны 532 нм происходит переход электронов в возбужденное состояние, после чего наблюдается фотолюминесценция в красной области спектра [1, 3].

Температурная зависимость спектральных характеристик люминесценции NV-центров позволяет использовать их в качестве чувствительных элементов наноразмерного термометра [4]. Практическая реализация данного подхода может быть основана на нанесении детонационных наноалмазов, содержащих NV-центры, непосредственно на поверхность исследуемой микросхемы.

Наноалмазы диспергируются в растворителе и наносятся методом спин-коатинга или капельного осаждения с последующей сушкой, формируя тонкий функциональный слой толщиной десятки нанометров. Малые размеры частиц обеспечивают минимальное влияние покрытия на электрические характеристики структуры.

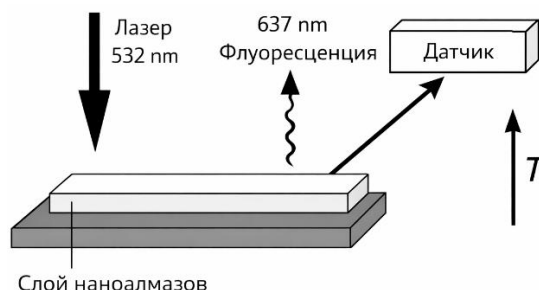


Рис. 1. Схема измерения температуры с использованием NV-центров в наноалмазах

Возбуждение люминесценции осуществляется зеленым лазером ($\lambda = 532$ нм), сфокусированным через объектив оптического микроскопа на выбранную область. Излучение NV-центров в диапазоне 630–800 нм регистрируется спектрометром или фотодиодным детектором после отсекающего отраженного лазерного света оптическим фильтром. Температура определяется по

изменению спектральных параметров люминесценции на основе предварительно полученной калибровочной зависимости [4].

Литература

1. The nitrogen-vacancy colour centre in diamond / M. W. Doherty, N. B. Manson, P. Delaney [et al.] // *Physics Reports*. – 2013. – Vol. 528, № 1. – P. 1–45.
2. Долматов, В. Ю. Детонационные наноалмазы: синтез, свойства, применение / В. Ю. Долматов // *Сверхтвердые материалы*. – 2001. – № 6. – С. 3–15.
3. Зайцев, А. М. Оптические свойства алмаза / А. М. Зайцев. – М.: Физматлит, 2001. – 276 с.
4. Temperature dependence of the nitrogen-vacancy magnetic resonance in diamond / V. M. Acosta, E. Bauch, M. P. Ledbetter [et al.] // *Physical Review Letters*. – 2010. – Vol. 104. – P. 070801.

УДК 621.396.6

ТВЕРДОМЕР ПОРТАТИВНЫЙ

Студенты гр. 11303124 Смирнов В. В., Канойко К. А.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Измерение твердости является одним из распространенных способов оценки механических характеристик конструкционных материалов. Показатель твердости связан с пределом прочности, износостойкостью, структурным состоянием и качеством термической обработки металлов и сплавов. В различных отраслях промышленности, включая машиностроение, энергетику, нефтегазовый сектор и транспортную сферу, нередко возникает необходимость оперативного получения данных о твердости непосредственно на месте эксплуатации изделий. В таких условиях целесообразно применение портативного электронного прибора, обеспечивающего проведение измерений без демонтажа узлов и без необходимости транспортировки образцов в лабораторию [1].

Целью работы является разработка конструкции портативного твердомера, обеспечивающего устойчивость к внешним климатическим воздействиям в исполнении О2 и степени защиты конструкции IP44, имеющего эргономичную конструкцию, стабильность метрологических характеристик в диапазоне рабочих температур.

Наиболее распространенными, в настоящее время, являются твердомеры, представленные на рисунке 1.

Портативный динамический твердомер для экспресс-контроля металлов SmartSensor AR936. Он работает по методу Лоба и умеет пересчитывать результаты в шкалы: HRC, HB, HV, HS и HRA. Прибор оснащен памятью на 500 измерений и USB-портом для передачи данных [2].

Твердомер в форм-факторе «ручка» INSIZE HDT-L411. Его главные особенности – высокая точность (погрешность всего $\pm 6\text{HLD}$) и поддержка Bluetooth. Устройство может работать под любым углом без предварительной настройки направления удара и запоминает до 999 показаний [3].

Универсальный динамический твердомер NOVOTEST T-ДЗ, Прибор поддерживает основные шкалы (HV, HB, HRC/HRB) и имеет 88 предустановленных калибровок для различных материалов – от стали до цветных сплавов [4].



Рис. 1. Современные твердомеры: SmartSensor AR936 (а); INSIZE HDT-L411 (б); NOVOTEST T-ДЗ (в)

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие инженерные задачи: обоснование выбора метода измерения с анализом чувствительности, повторяемости измерений

и требований к подготовке поверхности; расчет кинематики и динамики ударного тела (при методе Либа), включая определение массы индентора, коэффициента восстановления и диапазона скоростей; разработка топологии печатной платы с учетом требований электромагнитной совместимости; оптимизация материалов несущих конструкций; проведение метрологической калибровки по эталонным мерам твердости.

Литература

1. Дрозд, М. С. Определение механических свойств металла без разрушения / М. С. Дрозд. – М.: Металлургия, 1965. – 171 с.
2. Твердомер портативный Smartsensor AR936. Измеритель твердости // Bizorg. – URL: <https://bizorg.su/tverdomery-r/p3291993-tverdomer-portativnyy-smartsensor-ar936-izmeritely-tverdosti> (дата обращения: 03.03.2026).
3. Твердомеры INSIZE // Insize. – URL: <https://www.insize.ru/production/tverdomery/> (дата обращения: 03.03.2026).
4. NOVOTEST Т-УДЗ // Олдис. – URL: https://novapribor.ru/catalog/pribory_nerazrushayushchego_kontrolya_1/tverdomery_1/tverdomery_metallov/kombinirovannyi_universalnyy_tverdomer_novotest_t_ud3/ (дата обращения: 03.03.2026).

УДК 681

РОСТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СИЛОВЫХ ВИДАХ СПОРТА ПОСРЕДСТВОМ УПРАВЛЯЕМОГО СТРЕССА

Аспирант Тихонцов Е. П.

Д-р техн. наук, профессор Гусев О. К., д-р пед. наук, профессор Бельский И. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В литературе недостаточное внимание уделяется роли стрессовых воздействий на организм спортсмена в процессе тренировок и в процессе соревновательной деятельности. В основном анализ сводится к вопросам преодоления негативного влияния стресса на способность спортсмена показывать свои лучшие или выше лучших тренировочные результаты на соревнованиях.

В основе данного исследования лежит гипотеза о том, что стресс, обладая мощным воздействием на физическую и психическую системы организма, может быть использован в тренировочном процессе не только для усвоения спортсменом навыков преодоления его негативной составляющей, но и для попытки мобилизации систем организма на достижение ежетренировочной стимуляции мотивирующих чувств и удовлетворения от преодоления последовательно планируемых достижений.

Данное многолетнее исследование использовало в качестве модельного силового показателя результат спортсмена в жиме штанги лежа и проследило динамику отклика организма на систематические плановые стрессовые воздействия от уровня новичка (результат ниже 3-го взрослого разряда) до уровня мастера спорта международного класса (результат уровня мировых рекордов).

Исходными данными (установками) для проведения исследования явились:

1. Отсутствие у испытуемых противопоказаний к экстремальным тренировочным и соревновательным нагрузкам.
2. Морально-психологические качества, позволяющие при любых препятствующих обстоятельствах быть способным и готовым на многолетние усилия по достижению поставленной цели.
3. Установление многолетней последовательности планируемых достижений, которые удовлетворяют следующим критериям: организм способен к их достижению; они должны быть экстремальными, вызывающими стрессовые состояния атлета; они должны быть амбициозными и быть способными обеспечивать многолетнюю мотивацию спортсмена.
4. В данной работе в качестве амбициозной задачи многолетнего тренировочного процесса была установлена задача линейного со времени роста спортивного результата в жиме штанги лежа в диапазоне результатов от уровня 3-го разряда до высших мировых достижений и времени эксперимента до 10 лет.
5. В качестве стрессообразующих факторов в процессе каждой тренировки была поставлена задача установления личного рекорда в выполнении основных либо вспомогательных упражнений. Вид упражнения для рекорда определялся в начале разминки перед каждой тренировкой

исходя из интуитивного ощущения спортсменом потребности организма именно в этом упражнении. Такой подход назван в работе «внутренним компьютером».

6. Для придания интуитивным ощущениям спортсмена в выборе упражнения для рекорда чувства объективной обоснованности и уверенности в правильности решения, был установлен порядок строгого ведения журнала тренировок с красочным оформлением каждого рекорда на каждой тренировке. Журнал находился в свободном доступе в спортивном зале во время тренировок и мог обозреваться любым желающим. При этом распространение информации о ходе тренировочного процесса в среде коллег, соратников и соперников, друзей и недоброжелателей приводило к тому, что в подсознании спортсмена правильность его субъективных решений и действий приобретала объективно обусловленный и неоспоримый характер.

В работе на основе анализа рабочих дневников спортсмена показано, что решение поставленной в эксперименте задачи (достижение противоречащей современным представлениям линейности спортивного результата в выбранном диапазоне уровней и времени эксперимента) достигнуто с использованием корректирующих действий, включающих:

- 1) создание благоприятного климата и тренерского сопровождения;
- 2) совершенствование уникального технического арсенала спортсмена;
- 3) создание индивидуальной системы восстановления организма после физических нагрузок;
- 4) убеждение спортсмена в неотвратимом достижении поставленных целей.

УДК 681

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ТРЕНИРОВКИ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ

Аспирант Тихонцов Е. П.

Д-р техн. наук, профессор Гусев О. К., д-р пед. наук, профессор Бельский И. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время в литературе отсутствуют объективные методы оценки и прогнозирования влияния стрессового состояния на тренировочный процесс и соревновательные достижения тяжелоатлетов.

Предварительные исследования показывают, что стрессовое состояние при определенных сочетаниях внешних и внутренних факторов, уровня подготовленности атлета, факторов мотивации могут оказывать двоякое воздействие на соревновательные и тренировочные результаты.

В одних случаях атлет теряет способность должным образом управлять спортивными движениями и показывает не свойственные его уровню подготовки низкие результаты.

При других сочетаниях указанных факторов у спортсмена происходит внутренняя мобилизация физических и эмоциональных качеств, что приводит к достижению спортивных результатов, которые ранее и в другом состоянии атлет показывать не мог.

Таким образом, актуальной является задача объективного распознавания указанных видов стресса, алгоритмизация стимулирования второго вида и противодействия первому виду. Реализация указанных алгоритмов в аппаратно-программном комплексе и его использование для тренировки стрессоустойчивости к первому виду стресса и формирования психоэмоционального состояния, обеспечивающего достижение результатов высшего уровня, является важнейшей педагогической и технической задачей развития современного спорта.

Формирование исходных данных для проектирования аппаратно-программного комплекса тренировки стрессоустойчивости тяжелоатлетов включает в себя решение следующих задач:

1. Систематизация экспериментальных (опытных) данных по влиянию факторов стресса на спортивные результаты. Она включает анализ спортивных дневников и выявление причин (условий) формирования стресса первого и второго типа. Необходимо выявить объективные факторы, характеризующие стрессовые состояния, а классификация этих факторов позволяет сформулировать задачу алгоритмизации идентификации стрессовых состояний первого и второго типов.

2. Разработка объективных инструментальных методов идентификации стрессовых состояний первого и второго типа и разработка алгоритма функционирования аппаратно-программного комплекса.

3. Разработка структуры аппаратно- программно комплекса, отвечающего выработанной совокупности приемов сравнения физических и психофизических величин с их единицами, либо

с критериями отнесения их к соответствующему стрессовому состоянию в соответствии с методами идентификации.

4. Изготовление макетного образца информационно-измерительных каналов аппаратно-программного комплекса и проведение их исследовательских испытаний.

5. Разработка исходных требований на практический результат, получаемый пользователями-спортсменами и тренерами в соответствии с результатами исследовательских испытаний макетных образцов информационно-измерительных каналов:

– требования к методическому обеспечению разрабатываемого аппаратно-программного комплекса;

– руководство пользователей-тренеров и спортсменов;

– верификация результатов использования программно-аппаратного комплекса в практике учебно-тренировочного процесса ведущих тяжелоатлетов с планами подготовки к важнейшим соревнованиям республиканского и международного уровней;

– формирование перечня ограничений по использованию аппаратно-программного комплекса тренировки стрессоустойчивости тяжелоатлетов: ограничения по возрастным и функциональным требованиям к контингенту пользователей; ограничения по номенклатуре и интенсивности используемых в диагностическом процессе физических и эмоциональных нагрузок.

УДК 531.383

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

Студент гр. 120831 Ульянова П. Н.

Кандидат техн. наук, доцент Каликанов А. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Представленная работа направлена на выявление основных свойств волнового твердотельного гироскопа (ВТГ). Исследования проводятся на макетном образце ВТГ с металлическим резонатором. Экспериментально определяются собственная частота колебаний стоячей волны резонатора и его добротность. В данном случае совпадение частоты возбуждения генератора с собственной частотой резонатора наблюдается при $\omega_0 = 3,718$ кГц. Из графика (рис. 1) видно, что при подаваемой амплитуде напряжения $U = 1$ В в резонансном режиме работы сигнал первичных колебаний резонатора увеличивается до $U = 1,62$ В, а сдвиг фазы составляет минус 90° .

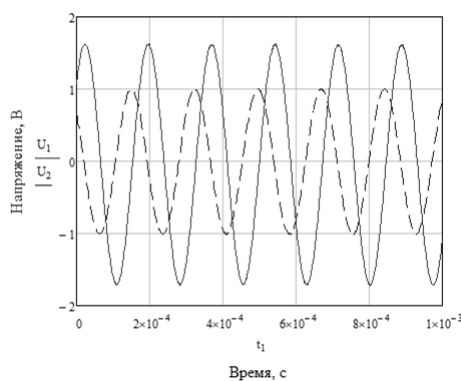


Рис. 1. Настройка ВТГ на резонансный режим работы:
пунктирной линией показан сигнал генератора; сплошной – сигнал первичных колебаний

Анализ высокочастотных колебаний ВТГ удобно проводить с помощью построения, огибающей амплитуд колебаний. Огибающая соответствует переходной характеристике апериодического звена первого порядка и может быть построена по формуле $U_1(t) = U_1^{уст}(1 - e^{-t/T})$. На рис. 2 показан процесс возбуждения резонатора и построенная к нему огибающая.

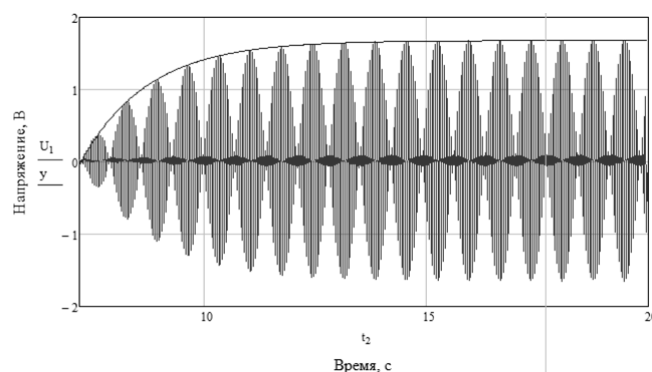


Рис. 2. Переходный процесс первичных колебаний

Показана методика определения постоянной времени резонатора и его добротности. В ходе проведенных исследований на макетном образце была определена длительность переходного процесса, которая составила $t_{п} \approx 3T = 4,5$ с.

Литература

1. Волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором / В. Я. Распопов, И. А. Волчихин, А. И. Волчихин [и др.]; под ред. В. Я. Распопова. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. – 189 с.

УДК 629.7.05

ОПТИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Магистрант гр. 140841/02 Хряпин Д. В.

Кандидат техн. наук Каликанов А. В.

Тульская инженерная школа «Интеллектуальные оборонные системы», Тула, Россия

Подавляющее большинство современных летательных аппаратов (ЛА) полагаются на сигналы спутниковых систем навигации. Это делает их уязвимыми к преднамеренным помехам. Автономные инерциальные системы накапливают ошибку с течением времени, что без периодической коррекции от внешних источников приводит к значительному дрейфу координат. Одним из способов решения данных недостатков является разработка автономной навигационной системы, основанной на принципах оптической корреляционно-экстремальной навигационной системы (КЭНС). Данная система предназначена для определения местоположения ЛА в реальном времени путем сравнения изображений местности, полученных с бортовой оптической системы, с эталонными электронными картами [1]. КЭНС имеет множество методов работы с изображением с разной степенью сложности [2]. В работе рассматривается метод нормированной кросс-корреляции (*Normalized Cross-Correlation, NCC*). Он прост и способен интегрироваться с другими алгоритмами и методами.

Математически его можно представить следующим образом:

$$R_{xy}(\tau) = \sum_t x(t)y(t+\tau), \quad (1)$$

где $R_{xy}(\tau)$ – значение взаимной корреляции между двумя сигналами x и y с временным сдвигом τ ; $x(t)$ – это значение первого сигнала x в момент времени t ; $y(t+\tau)$ – значение второго сигнала y , сдвинутое во времени на τ .

Данный алгоритм был реализован в программе *MATLAB* и проведено исследование его работоспособности. По результату работы, алгоритм должен найти заданную область, с помощью выбранного метода и построить экстремумы. Экстремумы можно увидеть на рис. 1, где представлены двухмерный и трехмерный графики корреляции.

В результате исследования было проведено детектирование части изображения исходя из эталонной карты по ключевым точкам, построены графики двухмерной и трехмерной корреляции. Установлено, что метод *NCC* является классическим и простым методом для КЭНС, однако он требователен к ресурсам вычислительных устройств и не слишком устойчив к искажениям (масштабированию, изменению угла). Показано, что при использовании в режиме реального времени данного метода может быть затруднительным.

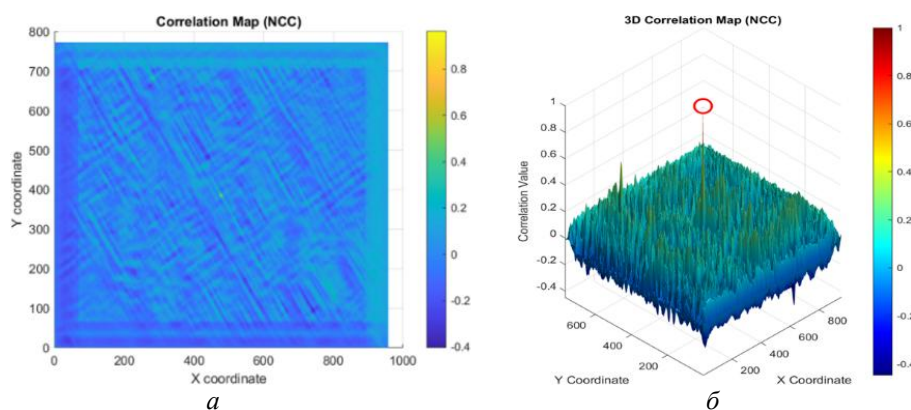


Рис. 1. График корреляции: двухмерный (а); трехмерный (б)

Литература

1. Красовский, А. А. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем / А. А. Красовский, И. Н. Белоглазов, Г. П. Чигин. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
2. Баклицкий, В. К. Методы фильтра сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации / В. К. Баклицкий, А. М. Бочкарев, М. П. Мусьяков; под ред. В. К. Баклицкого. – М.: Радио и связь, 1986. – 216 с.

УДК 681

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОВЫШЕННОЙ МАЯТНИКОВОСТИ ДАТЧИКОВ УГЛА НАКЛОНА

Магистрант Шилько И. А.

Кандидат техн. наук, доцент Ризноокая Н. Н., кандидат техн. наук Таратын И. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Развитие инерциальных навигационных систем предъявляет жесткие требования к точности датчиков угла наклона [1, 2]. Ключевым звеном таких датчиков является маятниковый чувствительный элемент. Наиболее перспективным путем повышения точности таких датчиков является применение чувствительного элемента повышенной маятниковости [1]. Под повышенной маятниковостью понимается целенаправленное увеличение приведенной длины физического маятника $L_{пр}$. Эта величина, объединяющая момент инерции, массу и плечо подвеса, служит интегральным показателем, связывающим геометрию элемента с его чувствительностью. Увеличение $L_{пр}$ напрямую повышает статическую чувствительность, однако ведет к снижению жесткости системы, что требует тщательного анализа динамических и прочностных характеристик.

Целью данной работы является разработка ЧЭ повышенной маятниковости, обеспечивающей баланс между статической чувствительностью, динамической устойчивостью и механической надежностью.

Для поиска оптимальной геометрии в среде SolidWorks было проведено моделирование методом конечных элементов серии упругих подвесов с варьируемыми параметрами: длина (6 000 и 12 000 мкм), ширина (2 000 и 4 000 мкм) и толщина (от 10 до 50 мкм). Для каждой конфигурации выполнялся статический и частотный анализ, определялись максимальные напряжения при углах наклона до 5° , а также спектр собственных частот и форм колебаний.

Результаты моделирования выявили проектное противоречие: снижение жесткости подвеса (утонение и удлинение) для роста чувствительности неизбежно понижает собственную частоту системы. Так, для подвеса $6\,000 \times 2\,000 \times 30$ мкм первая собственная частота составила около 22 Гц, а для подвеса $12\,000 \times 4\,000 \times 10$ мкм она снизилась до 3,2 Гц. Было установлено, что при нормальных нагрузках динамические ограничения являются более определяющим фактором, чем статическая прочность: амплитуда колебаний на первой резонансной форме может достигать значений, соизмеримых с рабочим диапазоном углов (до 5°), что делает датчик непригодным для эксплуатации в условиях даже незначительных вибраций.

Таким образом, в работе экспериментально подтверждено, что для ЧЭ с упругим подвесом существует область допустимых параметров, определяемая компромиссом между чувствительностью и частотным диапазоном. Утолщенные подвесы (50 мкм) обеспечивают высокую частоту и прочность, но неприемлемо низкую чувствительность. Чрезмерно длинные и тонкие подвесы

($12\,000 \times 4\,000 \times 10$ мкм) обладают высокой чувствительностью, но попадают в зону низкочастотного резонанса. Оптимальным признан диапазон параметров ($6\,000 \times 2\,000 \times 20 \dots 30$ мкм), обеспечивающий приемлемую чувствительность при собственных частотах выше 100 Гц, что гарантирует устойчивость к внешним вибрационным воздействиям.

Литература

1. Сазонов, В. В. Динамика упругих маятниковых систем в задачах проектирования чувствительных элементов инерциальных датчиков / В. В. Сазонов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2017. – № 5. – С. 88–102.
2. Журавлев, Ю. И. Маятниковые акселерометры с силовой компенсацией для инерциальных систем / Ю. И. Журавлев, А. А. Гольцев // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2015. – № 10. – С. 76–89.

УДК 621.396.6

ПОРТАТИВНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НЕМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Студент гр. 11303124 Шиманчик А. М.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В последние десятилетия в различных отраслях промышленности наблюдается устойчивый рост объемов применения защитных и специальных покрытий на неметаллической основе. Лакокрасочные материалы, полимеры, эмали и композиты наносятся на металлические конструкции для предотвращения коррозии, придания декоративных свойств или обеспечения электроизоляции. Критически важным этапом обеспечения долговечности и безопасности таких объектов является измерение его толщины. Несоответствие толщины проектным значениям может привести к преждевременному разрушению покрытия и, как следствие, к авариям и значительным экономическим потерям. Поэтому разработка современных конструкций портативных ультразвуковых толщиномеров для контроля немагнитных покрытий, является важной и актуальной научно-технической задачей.

Целью данной работы является разработка конструкции портативного ультразвукового толщиномера, предназначенного для высокоточного измерения толщины немагнитных диэлектрических покрытий на ферромагнитных и неферромагнитных металлических основаниях в заданных климатических условиях. Прибор должен обеспечивать проведение экспресс-контроля в цеховых и полевых условиях, отличаться эргономичностью, автономностью и стабильностью работы при внешних дестабилизирующих факторах.



Рис. 1. Толщиномеры ультразвуковые: толщиномер ультразвуковой УДТ-08 (а); толщиномер ультразвуковой УДТ-20 (б); толщиномер ультразвуковой Olympus 72DL PLUS (в)

Анализ существующих на рынке аналогов (рис. 1) позволяет выявить их основные достоинства и недостатки. Например, модель УДТ-08 отличается простотой, компактностью и длительным временем автономной работы (до 15 часов), однако ее существенным недостатком является отсутствие памяти результатов и невозможность работы с преобразователями сторонних производителей, что ограничивает сферу ее применения. Более функциональный прибор УДТ-20 предоставляет пользователю расширенные возможности визуализации (А-скан и В-скан), память на большое количество настроек и измерений, а также допустимость измерения через покрытия

толщиной до 10 мм в режиме «эхо-эхо». Стоимость данного прибора высокая, а интерфейс сложен для рутинных задач. Высокочастотный толщиномер Olympus 72DL PLUS обеспечивает прецизионное измерение ультратонких и многослойных материалов с выводом данных на большой сенсорный экран. К недостаткам можно отнести высокую цену и массу (2,1 кг).

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд конкретных инженерных и конструкторских задач: а) разработать компоновочную схему, обеспечивающую минимальные массогабаритные показатели при сохранении прочности и жесткости несущих конструкций, что предполагает выбор современных ударопрочных полимерных материалов или легких алюминиевых сплавов для шасси; б) необходимо обеспечить вибро- и удароустойчивость электронных компонентов путем применения амортизирующих элементов и оптимального расположения печатных плат внутри корпуса; в) важной задачей является интеграция современных беспроводных интерфейсов для передачи данных на внешние устройства. Решение этих задач в комплексе позволит создать прибор, отвечающий актуальным потребностям специалистов в области промышленной безопасности и неразрушающего контроля.

Литература

1. Толщиномер ультразвуковой УДТ-08: руководство по эксплуатации (паспорт) / Научно-производственный центр «КРОПУС». – 2020. – URL: <https://kropus.com/upload/iblock/db1/UDT-08v2.pdf> (дата обращения: 08.03.2026).
2. УДТ-20 – портативный ультразвуковой толщиномер с А-сканом // СОЮЗ-ПРИБОР: контрольно-измерительные приборы и оборудование. – URL: <https://www.souz-pribor.ru/product/udt-20/> (дата обращения: 08.03.2026).
3. Ультразвуковой толщиномер 72DL PLUS // НТЦ Эксперт: неразрушающий контроль. – URL: <https://ntcexpert.ru/uc/uc2/2586-ultrazvukovoj-tolshhinomer-72dl-plus> (дата обращения: 08.03.2026).

УДК 681

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОСКОПОВ ФИРМЫ SIUI ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОПРОВОДОВ

Студент гр. 11312123 Якименко Д. Д.

Кандидат тех. наук, доцент Воробей Р. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью работы является определение целесообразности использования дефектоскопов фирмы SIUI для контроля сварных соединений газопроводов.

Фирма SIUI является основным поставщиком оборудования для неразрушающего контроля и медицинской диагностики, в том числе ультразвуковых дефектоскопов с фазированной решеткой и TOFD-сканерами. Самые современные методы ультразвукового контроля сварных соединений основаны на использовании фазированной решетки и TOFD-сканеров. Фирма SIUI выпускает 2 типа ультразвуковых дефектоскопов, которые обеспечивают реализацию контроля двумя методами: метод фазированной решетки и TOFD-метод.

На рис. 1 представлены ультразвуковые дефектоскопы фирмы SIUI.



Рис. 1. Ультразвуковой дефектоскоп SIUI SyncScan (PA16:64+UT)(а) и SIUI SUPOR (PA32:128+UT)(б)

Данные дефектоскопы обеспечивают обнаружение всех критических дефектов сварных соединений, а также дефекты, которые нельзя обнаружить рентгеновским методом. В мультиэкранном режиме отражаются результаты контроля сварных соединений в виде В- и S-сканов

и TOFD-скана. Для реализации двух методов используют специальные конструкции сканеров показанные на рис. 2.



Рис. 2. Сканер UHTS-X02

Использование TOFD-метода позволяет обнаружить дефекты вблизи поверхности, а фазированной решетки глубоко расположенные дефекты.

Литература

1. SIUI – официальное представительство в России и СНГ: [сайт]. – URL: <https://www.siui-ndt.ru/> (дата обращения: 05.03.2026).

СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ПРИБОРОВ

UDC 681

ENGINEERING OF TOOL-PURPOSE HARD ALLOYS BY UNBALANCED MAGNETRON SPUTTERING OF HIGH-ENTROPY ALLOYS

Student of gr. 11307325 Rufaro Chizu

Academician, Professor Byeli A. V.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Research and development in the field of high-entropy alloys and coatings based on them have rapidly developed over the past 20–25 years [1–2]. The study presented in this publication forms the basis for the first stage of the State Program for Scientific Research "Modern Materials Science, Advanced Materials, and New Technologies" for 2026–2030, aimed at developing a technology for the fabrication of multicomponent targets for surface engineering of high-strength tool materials by magnetron sputtering. Previous studies [2] confirm the validity of the proposed approach. The specific chemical composition of the target is based on the use of a number of transition metals, which ensure the required level of physicochemical properties of the surface layers. In particular, in the surface engineering of tool materials, the most important factors are tribological properties, hardness, strength, durability under high temperatures, and high corrosion resistance, which is necessary for processing chemically active condensed media, which include many wood- and polymer-based materials.

From a technological standpoint, nitride and oxide coatings based on high-entropy alloys are of significant scientific and practical interest; however, such coatings exhibit a high coefficient of friction and comparatively low wear resistance. According to literature data, the introduction of carbon into the coating composition, which acts as a solid lubricant, provides a significant reduction in the coefficient of friction and an approximately threefold increase in wear resistance [1]. The deposition of carbon-containing coatings allows the preservation of free carbon within the coating structure, which acts as a solid lubricant. The introduction of carbon also helps increase the resistance of surface layers to shear deformations under conditions of surface contact.

One of the most promising methods for producing thin surface layers is unbalanced magnetron sputtering of multicomponent targets. This technology enables the formation of multicomponent coatings based on metals, alloys, and chemical compounds at relatively low temperatures (approximately 200–300 °C), ensuring high coating growth rates and the possibility of implementing ion-beam-assisted deposition processes. It also allows for the wide variation of coating structure and properties. Figure 1 shows a photograph of the setup used in the study.

In this presentation, coatings based on high-entropy alloys were formed using composite target technology.

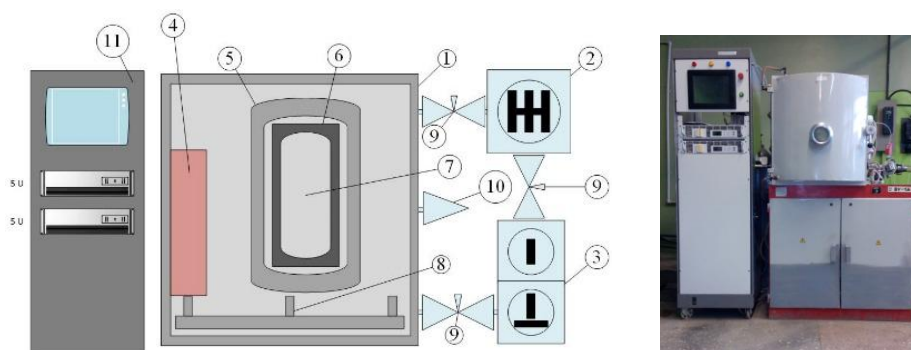


Fig. 1. Block diagram and appearance of magnetron sputtering system:

1 – vacuum chamber; 2 – diffusion pump; 3 – roughing pump; 4 – sample;
5 – unbalanced magnetic field solenoid; 6 – magnetron; 7 – target; 8 – transfer system

The deposition of high-entropy coatings with optimal composition is complicated by the lack of reliable data on the sputtering yields of the chemical elements that comprise the target. Taking into account the general principles of creating high-entropy alloys, in this study, the optimal elemental composition of the target was determined from the condition of equal numbers of atoms of each individual element.

Preliminary experiments on the formation of Al–Ti–Fe–Cr–Ni coatings demonstrated the potential of the proposed hardening technology for machining hard alloys for tool applications.

References

1. Rogachev, A. S. Structure, stability and properties of high-entropy alloys / A. S. Rogachev // *Physics of Metals and Metal Science*. – 2020. – Vol. 8. – P. 807–841.
2. Byeli, A. V. Surface engineering of metals and alloys using multicomponent plasma flows and ion-assisted deposition / A. V. Byeli, S. D. Latushkina. – Minsk: Belarusian Science, 2024. – 151 p.

UDC 57.016:371.72

EXPANDING THE POSSIBILITIES OF ELECTRICAL RESISTANCE CONTROL AT ACUPUNCTURE POINTS

Master's Student Song TingTing

PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The effectiveness of Taijiquan can be assessed both by a change in a person's physical condition and by a change in his emotional state. To assess a person's physical and psychological condition, it is possible to use electrical resistance at acupuncture points. Measurements of this parameter using well-known devices operating according to the traditional Foll method take a significant amount of time. To simplify the measurements, increase their speed, and ensure that the experimental results saved and reproduced for quick and convenient processing, the device circuit shown in Fig. 1 was developed.

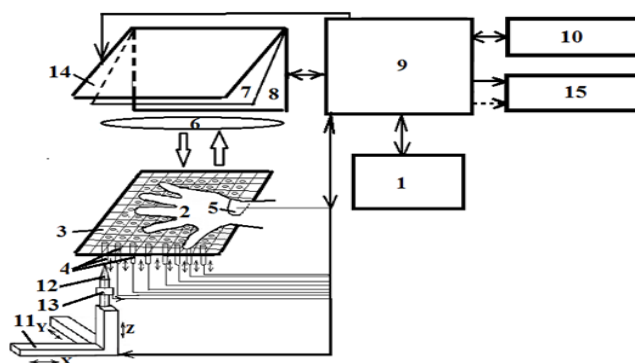


Fig. 1. Diagram of a device for automatic control of electrical resistance at acupuncture points with the ability to store and reproduce data

After switching on the device through the control device 1, the arm 2 of the subject placed on the grid 3. Voltage applied to the arm through rods moving vertically-electrodes 4 and a fixed electrode 5. The lens 6, through a partially reflective light-separating plate 7, builds an image of the hand 2 on the light-signal matrix 8. The signal enters the processor 9, from where information about the position of the hand enters the database 10. After entering these data, the three-axis drive 11 activated. When the drive 11 is operating, the pusher 12 with the force meter 13 mounted on it sequentially vertically moves the electrodes 4 until they meet the palm of the hand 2. When the required clamping force reached, the vertical movement of the pusher and the electrode stops. After the measurement is completed, the pusher 12 is lowered by the drive, and the "arm 2 – movable electrode 4" contact is opened by lowering the movable electrode 4 under its own weight. The processor 9 then activates the movement of the pusher 12 in the horizontal direction to contact the next movable electrode 4.

The numbers of the movable electrodes, where the electrical resistance turned out to be minimal, entered into the database of a specific subject. They correspond to the location of the acupuncture points of the subject. In the course of future measurements, only these electrodes will used for this person. In order for the next measurements to place the subject's hand in the same way as in the initial measurement, the image of the subject's hand projected onto the grid with electrodes. The image formed by the projector 14 through the light separation plate. Numbers of the movable electrodes, where the electrical resistance turned out to be minimal, entered into the database of a specific subject. They correspond to the location of the acupuncture points of the subject. In the course ore measurements, only these electrodes will used for this person. In order for the next measurements to place, the subject's ha device 15.

The speed of the device regulated by the speed of the drive, the resistance measurement time and the time of processor processing of information. According to the proposed method, using the device described above, only the first measurement is the maximum duration, when the entire hand scanned to find acupuncture points. It is possible to achieve a measurement speed of about 300 points per minute taking into account the diameter of these points (2–3 mm) and the performance of miniature three-coordinate drives. Hence, the initial change (to find acupuncture points) can take about 6 minutes. Subsequent measurements, made only at acupuncture points, made at least an order of magnitude faster.

UDC 57.016:371.72

THE USE OF INTEGRATED PHOTOGRAPHY TO EXPAND THE POSSIBILITIES OF GAS-DISCHARGE VISUALIZATION

Master's Student Song TingTing

PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Numerous studies show the existence of a correlation between the parameters of gas discharge imaging (GRI) and the emotional state of a person. The development of information recording, playback and processing systems allows you to move to a new level of GRV diagnostics, that is, to investigate not flat, but three-dimensional images of the result of exposure to the electromagnetic field. For this purpose, it proposed to use one of the variants of the optical scheme for integral photography.

The scheme of recording the three-dimensional image of the result of gas discharge visualization is shown in Fig.1 *a*. The finger of 1 person placed in the chamber on the dielectric plate 2, under which the electrode 3 placed. Electrode 4 installed on the skin. With the control device 5 through the processor unit 6, the operator turns on the light-sensitive matrix 7 for recording images, after which the processor 6 initiates a high-voltage discharge in the generator 8. The luminous halo reflected on the set of mirrors 9. A set of reflections from these mirrors form on the matrix 7 with a lens of 10 toroidal shape a set of 11 fragments of the halo recorded from different angles. These images are stored in database 12, from where they can retrieved to the image processor and to a regular monitor. In this case, you can study, view and process flat images of the same halo, photographed from different angles. In addition, information about the set of images photographed on the matrix 7 through the processor unit 6 can sent to the device 13 for playing three-dimensional images.

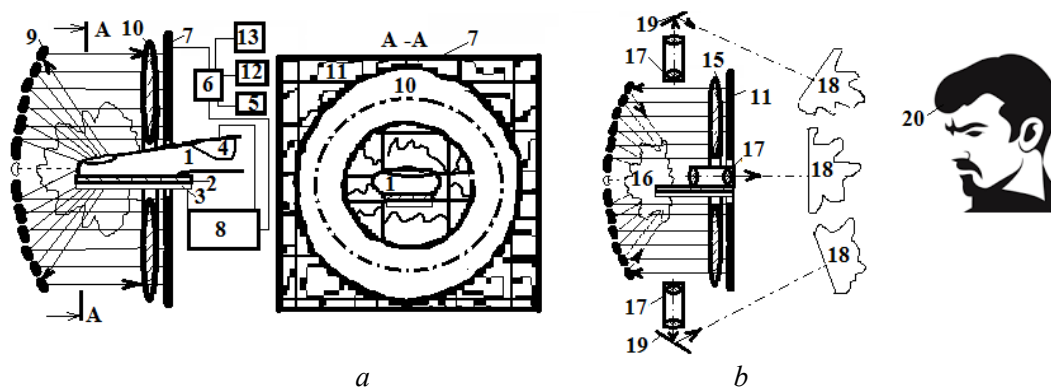


Fig. 1. Three-dimensional image recording (*a*) and reproduction (*b*) scheme of the result of gas discharge imaging

The principle of reproduction of a three-dimensional image based on the reversibility of the course of optical rays. His scheme is shown in Fig. 1, *b*. The optical scheme of the reproduction device is identical or geometrically similar to the optical scheme for a three-dimensional image recording device, only instead of a light-sensitive matrix, the 14 "signal-to-light" matrix is used to reproduce the image. A set of flat images reproduced on the matrix 14, transformed by the lens 15, are reflected in a set of mirrors. The rays reflected by these mirrors intersect. The points of intersection of reflections of the image fragments of the same name from different mirrors form a three-dimensional image of the 16 luminous halo. To ensure that this three-dimensional image is viewed from different angles, the three-dimensional image reproduction device provides for the use of many additional lenses 17. They form fragments of 18 three-dimensional images in the airspace, visible from different angles. Mirrors 19 rotate

the optical axes for peripheral lenses 17 so that the researcher can observe different angles of the image without changing the location of the head 20.

The proposed devices allow you to provide an additional option – the ability to record and reproduce not only static images, but a video sequence that characterizes the changes in the luminous halo over time.

Recording and reproducing three-dimensional images with gas-discharge imaging opens up additional opportunities for more accurate diagnosis of a person's condition, including an athlete.

УДК 621.876

ПОДЪЕМНИК С ПРИВОДОМ

Студент гр. 11307222 Андрушкевич И. В.

Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Обеспечение качества жизни людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата является важной медико-социальной задачей, при этом ключевой проблемой становится безопасное перемещение человека между различными зонами активности. Ручное пересаживание пациентов представляет высокий риск травм спины для помощника и дискомфорт для пациента [1]. Решением является применение подъемников с приводом, механизмирующих процесс перемещения.

Медицинские показания включают нарушения нервной системы с параличом или мышечной слабостью, тяжелые заболевания суставов, период после эндопротезирования и прогрессирующие мышечные дистрофии [2]. Таким образом, подъемник необходим людям, которые не могут безопасно перемещаться самостоятельно.

При разработке конструкции учитывалось, что подъемник должен обеспечивать плавный ход, точное позиционирование в ограниченном пространстве и простоту управления. Правильная поддержка тела и равномерное распределение нагрузки предотвращают давление на мягкие ткани, а плавность хода минимизирует риск повреждений.

Подъемник с приводом рис. 1 состоит из следующих основных элементов: рамы 1, ручки 2, сиденья 3 с санитарным отверстием, подножки 4, колес 5, электропривода 6, пульта управления 7, сумки 8.

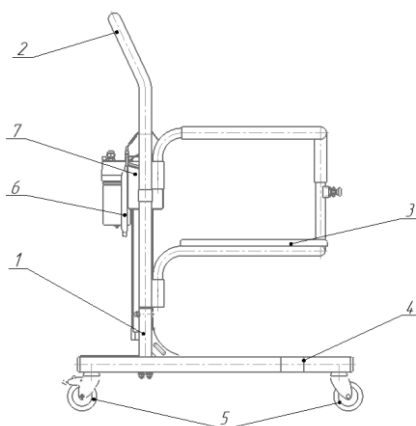


Рис. 1. Подъемник с приводом

Работа с устройством заключается в правильном позиционировании и фиксации пользователя. Для начала нужно выставить нужную высоту, так, чтобы уровень сиденья 3 совпадал с уровнем поверхности, на которой изначально находится пользователь. Высота регулируется при помощи пульта управления 7. После того как нужная высота будет установлена необходимо открыть замок 1, произвести захват путем заведения двух частей сиденья 3 под ягодицы пользователя. Закрыть замок 1. При пересаживании пользователя с подъемника на другую поверхность нужно произвести те же манипуляции: выставить нужную высоту и положение подъемника так, чтобы сиденье касалось поверхности, на которую осуществляется пересадка, открыть замок, развести сидение, аккуратно пересадить пользователя с подъемника.

Подъемник может использоваться как в лечебно-профилактических учреждениях, так и в домашних условиях.

Дальнейшее усовершенствование конструкций подъемников и внедрение инновационных технологий открывают новые возможности для более комфортного и безопасного восстановления двигательной активности и социальной адаптации маломобильных граждан.

Литература

1. Кресло-лифт TU 13 // Invatechnik.ru. – URL: <https://invatechnik.ru/product/sanitarniy-stul-tu-13> (дата обращения: 24.02.2026).

2. Двигательные нарушения при заболеваниях НС // Sechenov.ru. – URL: <https://www.sechenov.ru/pressroom/publications/narusheniya-dvigatelnye-pri-zabolevaniyakh-ns1/> (дата обращения: 24.02.2026).

УДК 62-137

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Студент гр. 11307123 Бабенко А. И.

Кандидат техн. наук, доцент Габеев В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Центрифугирование – это метод, используемый для разделения неоднородных жидких смесей, суспензий, эмульсий и биологических образцов (кровь, моча, ДНК) на фракции различной плотности под воздействием центробежной силы в зависимости от их размера, формы, плотности, вязкости среды и скорости вращения ротора. Когда ротор вращается, в центрифуге возникает центробежная сила, которая прикладывается к каждой частице в образце, частица затем осаждается со скоростью пропорциональной центробежной силе, приложенной к ней. Вязкость раствора образца и физические свойства частиц также влияют на скорость оседания каждой частицы. При фиксированной центробежной силе и вязкости жидкости скорость оседания частицы пропорциональна ее размеру (молекулярной массе) и разнице между плотностью частиц и плотностью раствора. В растворе частицы, плотность которых выше плотности растворителя, оседают (осадок), а частицы, которые легче, чем он, всплывают наверх [1].

Центрифугирование используется в медицине для: подготовки крови для донорского переливания; получения очищенных образцов крови для проведения плазмафереза; синтеза эритроцитарной массы; синтеза тромбоцитарной массы [2].

Лабораторные центрифуги можно классифицировать по скорости вращения на низкоскоростные (до 10 000 об/мин), предназначенные для бережного разделения жидких сред (кровь, моча) на фракции, в основном применяются в медицине и биохимии; на суперцентрифуги (до 40 000 об/мин), предназначенные для разделения эмульсий и очистки от мелких примесей, в основном применяются в фармацевтике и биотехнологии; на ультрацентрифуги (от 40 000 об/мин), предназначенные для разделения частиц менее 100 нм (нуклеиновых кислот, липидов, субклеточных частиц, коллоидов), в основном применяются в вирусологии, биохимии и атомной промышленности [3].

По размеру лабораторные центрифуги делятся на микроцентрифуги, предназначенные для пробирок на 3–5 мл и применяются для клинических и молекулярных исследований; на центрифуги универсальные, предназначенные для средних объемов и применяются в медицинских центрах и диагностических учреждениях; на масштабные лабораторные системы, которые применяются для больших объемов материалов в различных сферах [3].

Применение центрифугирования в медицине позволяет после разделения телесной жидкости на отдельные фракции вернуть донору клетки крови, а плазму применить для переливания, либо заморозить для последующего использования, отделить форменные элементы крови от ее плазмы, что дает возможность избавить кровь от вирусов, избыточных антител, болезнетворных бактерий, токсинов, готовую массу, богатую эритроцитами использовать для переливания при больших кровопотерях, а также применять для лечения анемии и для улучшения свертываемости крови у пациентов [2].

Литература

1. Ширококов, В. Д. Лабораторная центрифуга и ее применение в медицине / В. Д. Ширококов // Естественнонаучные основы медико-биологических знаний: материалы II Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием, Рязань, 29–30 апреля 2019 года. – Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, 2019. – Ч. 1. – С. 71–73.

2. Краткая медицинская энциклопедия: в 2 т. / гл. ред. В. И. Покровский. – М.: Медицинская энциклопедия, 1999. – Т. 1: А–Механотерапия. – 608 с.

3. Mikkelsen, S. R. Bioanalytical chemistry / S. R. Mikkelsen, E. Cortón. – Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2004. – 361 p.

УДК 621.771.23

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА МЕТАЛЛОВ

Аспирант Богдан Д. Ю.

Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Листовой прокат широко используется в машиностроении, авиационно-космической отрасли, судостроении и строительстве. В процессе пластической деформации при прокатке формируется выраженная кристаллографическая текстура, приводящая к анизотропии механических, технологических и эксплуатационных свойств материала.

Анизотропия проявляется в различии предела текучести, временного сопротивления, пластичности, ударной вязкости и характеристик формовости в продольном, поперечном и толщинном направлениях проката [1]. Особенно критична она при операциях глубокой вытяжки, гибки и штамповки, где неравномерность свойств приводит к дефектам типа «ушастости», трещинообразованию и снижению ресурса изделий [2].

Таким образом, проблема формирования и управления анизотропией свойств листового проката является одной из ключевых задач физики и технологии металлов.

Основные причины возникновения анизотропии:

1. Кристаллографическая текстура – преимущественная ориентация зерен вследствие направленной пластической деформации при прокатке. Формируются текстуры типа «волоконистая», « γ -текстура», « α -текстура» (для сталей) [3].

2. Полосчатость структуры – вытянутость зерен и неметаллических включений в направлении прокатки.

3. Анизотропия дислокационной структуры – различная плотность и распределение дислокаций по направлениям.

4. Неоднородность фазового состава – особенно актуально для двухфазных сталей и алюминиевых сплавов.

Методы оценки анизотропии. Для количественной характеристики применяются:

– коэффициент нормальной анизотропии r (коэффициент Ланкфорда) [2];

– показатель плоскостной анизотропии Δr ;

– испытания на растяжение образцов, вырезанных под различными углами к направлению прокатки;

– методы рентгеноструктурного анализа текстуры;

– электронная микроскопия (EBSD-анализ).

Комплексное использование механических испытаний и текстурного анализа позволяет установить связь «структура – текстура – свойства» [3].

Методы управления и снижения анизотропии. Основные технологические подходы:

1. Оптимизация режима прокатки.

2. Термическая обработка.

3. Легирование и микролегирование. Добавки Nb, Ti, V способствуют формированию благоприятной текстуры и измельчению зерна [4].

4. Интенсивная пластическая деформация. Методы типа равно канального углового прессования позволяют формировать ультрамелкозернистую структуру с более изотропными свойствами [3].

5. Компьютерное моделирование.

Современные модели кристаллографической пластичности позволяют прогнозировать формирование текстуры при различных схемах деформации.

Анизотропия свойств листового проката является закономерным следствием направленной пластической деформации и формирования кристаллографической текстуры.

Проблема носит комплексный характер и требует сочетания:

- фундаментального анализа механизмов пластической деформации;
- совершенствования режимов прокатки и термической обработки;
- применения методов текстурного контроля и моделирования.

Современные технологии позволяют не только снижать нежелательную анизотропию, но и целенаправленно формировать ее для повышения технологичности и эксплуатационных характеристик листовых материалов.

Литература

1. Калпин, Ю. Г. Физика пластической деформации металлов / Ю. Г. Калпин. – М.: Металлургия, 2000. – 416 с.
2. Ланкфорд, У. Технологические свойства листовых сталей при глубокой вытяжке / У. Ланкфорд. – М.: Металлургия, 1985. – 280 с.
3. Хамфрис, Ф. Рекристаллизация и связанные с ней явления / Ф. Хамфрис, М. Хатерли; пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 352 с.

УДК 621.771.23

ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШТАМПУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аспирант Богдан Д. Ю.

Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Оценка анизотропии механических свойств штампуемых материалов является важной задачей в материаловедении и инженерии. Наиболее перспективными являются неразрушающие методы контроля оценки, целью которых является определение параметров анизотропии механических свойств без разрушения образцов, что важно для серийного контроля листовых материалов в производстве.

Анизотропия – свойство материалов, при котором физические и механические характеристики зависят от направления измерения в пространстве. В кристаллах чистого металла это определяется упорядоченным расположением атомов в структуре, а в штампуемых листах металла – направленной текстурой зерен, развившейся под воздействием пластической деформации.

Основные задачи, стоящие перед исследователем анизотропных материалов:

- оценка распределения механических свойств в разных направлениях листа;
- выявление влияния текстуры и процесса обработки на механические характеристики;
- прогноз прочности и пластичности в рабочих условиях.

Основные неразрушающие методы оценки анизотропии:

1. Ультразвуковые методы. Ультразвуковая оценка основана на измерении скоростей продольных и поперечных волн в различных направлениях листа и позволяет выявить анизотропию упругих констант, отражающих механические свойства материала. Изменения скорости и затухания ультразвуковых волн дают информацию о структурных неоднородностях и ориентации текстуры, что коррелирует с механическими параметрами [1].

2. Электромагнитные методы. Эти методы оценивают изменения магнитных свойств материала, которые связаны с текстурой и, опосредованно, с механическими характеристиками. Магнитная анизотропия связана с кристаллографической текстурой и внутренними напряжениями, что позволяет оценивать влияние обработки на механические свойства без разрушения образцов [2–3].

3. Лазерные оптические методы и нелинейные ультразвуковые технологии. Современные подходы используют оптические методы генерации и регистрации волн, включающие нелинейную лазерную ультразвуковую диагностику, что позволяет оценивать дефекты и микроструктуру, влияющую на механические свойства [4], и цифровую корреляцию изображений (DIC), то есть регистрацию деформированных полей без контакта с образцом [5].

Эти методы обеспечивают высокую пространственную разрешающую способность и возможность получения информации о локальной анизотропии.

4. Индентационные методы. Инструментированное индентирование позволяет вдавливать наконечник в поверхность листа и измерять локальную реакцию на нагрузку. Анализ параметров

отпечатка обеспечивает оценку упругих и пластических свойств в различных направлениях. Благодаря малому проникновению, этот метод может применяться как неразрушающий (локально) для картирования анизотропии [6].

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, и выбор подходящего метода зависит от конкретных условий и требований исследования, поэтому рекомендуется комбинировать несколько методов для более полной оценки анизотропии механических свойств штампуемых материалов.

Литература

1. Ivanova, Y. Application of Ultrasonic Methods for Evaluation the Anisotropy of Materials / Y. Ivanova // EPSTEM. – 2023. – Vol. 22. – P. 258–267.
2. Non-destructive evaluation of magnetic anisotropy in interstitial free steels // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2023. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885323000239> (дата обращения: 17.02.2026).
3. Nondestructive material characterization in sheet metal processing with electromagnetic methods // Scientific Reports. – 2024. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-55927-4> (дата обращения: 17.02.2026).
4. Noncontact evaluation of steel mechanical properties using nonlinear laser ultrasonics // Ultrasonics. – 2025. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963869525001264> (дата обращения: 17.02.2026).
5. Ambriško, L. Non-Contact Evaluation of Deformation Characteristics on Automotive Steel Sheets / L. Ambriško, L. Pešek // Metals. – 2024. – Vol. 14, № 5. – P. 566.
6. Characterization of anisotropy in additively manufactured materials through instrumented indentation testing // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2024. – Vol. 38. – P. 13.

УДК 62-1/-9, 611.983

КЛАССИФИКАЦИЯ КОЛЕННЫХ МОДУЛЕЙ

Студент гр. 11307123 Буюевич А. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Коленный модуль – это функциональный узел протеза бедра, заменяющий коленный сустав, обеспечивающий сгибание, разгибание, опору и безопасность при ходьбе. Он соединяет культю-приемную гильзу с голенью, регулируя походку с помощью механических, пневматических, гидравлических или микропроцессорных систем управления.

Целью создания коленных модулей после ампутации нижней конечности человека является восстановление функций опоры и движения. Ортопедический аппарат подбирается или изготавливается строго индивидуально. Классификация коленных модулей, а также их разнообразие зависит от потребности пациента, его физической активности и от некоторых других факторов.

По количеству осей модули разделяются:

1. Одноосные (моноцентрические).
2. Многоосные (полицентрические) [1].

Одноосные модули являются наиболее легкими и простыми в изготовлении. Их недостаток в том, что длина протеза при сгибании не изменяется, что соответственно небезопасно и не подходит для пациентов с высокой физической активностью.

Многоосные модули надежные, обеспечивают высокую стабильность и безопасность при ходьбе. В отличие от одноосных модулей протез имитирует анатомическое движение колена, что гарантирует плавность походки. Наличие четырехзвенного коленного шарнира уменьшает удельную энергоёмкость ходьбы на 54 % (по сравнению с одноосным шарниром). Если закрыть замок в коленном шарнире, то тут же резко возрастает расход энергии на шаг [1].

По способу фиксации коленные модули делят на замковые и беззамковые. Первые жестко фиксируют колено в выпрямленном положении при ходьбе, что защищает от непроизвольного подкоса. Непосредственно при помощи замка включается движение в шарнирах. Замок включается вручную или автоматически. Данный способ фиксации подходит для пациентов с низким уровнем активности, так как является наиболее энергозатратным. Вторые позволяют колену свободно сгибаться и разгибаться во время каждого шага. Эти модули подразделяется на три под-типа по способу контроля: фрикционные (модули с тормозным механизмом), полицентрические (многоосевые модули), модули с внешним управлением (пневматика, гидравлика, электроника) [2].

Классификация уровней активности является ключевым фактором при выборе конструкции протеза нижней конечности, обеспечивающей необходимую функциональность для восстановления способности к социальной адаптации, полноценной реабилитации, а также выполнения физической активности в соответствии с установленным уровнем [3].

Современное протезирование невозможно представить без использования модульных протезов. Базовым функционалом коленного модуля является: нестигаемость колена во время периода одиночной и двойной опоры и одновременно хорошая сгибаемость на стадии переноса [4]. Так как значительная часть населения имеет нарушения функций опорно-двигательного аппарата, то следует постоянно разрабатывать и расширять модульные системы.

Литература

1. Конструкции протезно-ортопедических изделий: учеб. пособие для техникумов / А. П. Кужекин [и др.]; под ред. А. П. Кужекина. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 240 с.
2. Габец, В. Л. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Конструирование и производство систем замены органов и аппаратуры для инвалидов» для студентов специальности 1-38 02 02 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» / В. Л. Габец, Г. А. Есьман. – Мн.: БНТУ, 2022. – 565 с.
3. ГОСТ Р 72408–2025. Уровни активности для обозначения реабилитационного потенциала людей с ампутацией нижних конечностей. – Введ. 01.07.2025. – М.: Российский институт стандартизации, 2025. – 8 с.
4. Uustal, H. Essential Physical Medicine and Rehabilitation / H. Uustal, G. Cooper. – Totowa, NJ: Humana Press, 2006. – 350 p.

УДК 620.193.2

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЗАЩИЩЕННОСТЬ ОТ ВЛАГИ

Студент гр. 11302122 Васин К. Е.

Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Защита изделий от воздействия влаги – одно из ключевых требований к современной электронике, приборостроению, текстильной и машиностроительной продукции. Способность материалов и готовых устройств сохранять работоспособность после контакта с водой (капли, струи, погружение) регламентируется международными стандартами (коды IP) и национальными ГОСТами. Для объективной оценки этой характеристики необходимо специализированное испытательное оборудование, позволяющее воспроизводить различные виды водного воздействия.

Анализ существующих конструкций показал, что серийно выпускаемые камеры дождя и комплексные стенды обладают избыточными габаритами и стоимостью, что ограничивает их использование в учебных и небольших лабораторных условиях. Поэтому был спроектирован компактный стенд с замкнутой системой подачи воды и автоматизированным управлением. На рисунке 1 представлена кинематическая схема разработанного устройства.

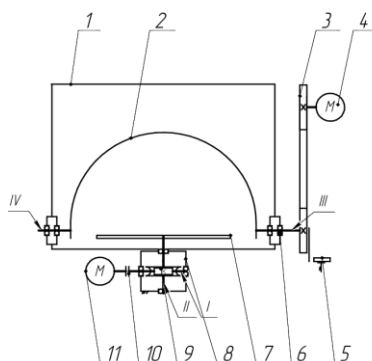


Рис. 1. Кинематическая схема стенда испытаний на защищенность от влаги

Стенд состоит из испытательной камеры, внутри которой размещены вращающийся стол и качающаяся трубка с форсунками. Стол получает вращение от электродвигателя через червячный редуктор с передаточным отношением $i = 36$, что обеспечивает стабильную скорость

1 об/мин. Качающаяся трубка приводится в движение отдельным мотор-редуктором через зубчато-ременную передачу, позволяя изменять угол орошения от -60° до $+60^\circ$ со скоростью до 30 $^\circ/\text{с}$. Подача воды осуществляется насосом из накопительного бака, что делает стенд автономным и не требующим подключения к водопроводу. Что является его несомненным достоинством. Датчики положения контролируют крайние углы наклона трубки, при необходимости приводя двигатель в реверсивное движение.

Методика испытания заключается в следующем. Изделие устанавливается на вращающийся стол. В зависимости от требуемой степени защиты (IPX1–IPX8) выбирается режим работы: каплепадение из емкости, распыление из качающейся трубки или погружение (для последнего в конструкции предусмотрен дополнительный бак). После завершения цикла изделие извлекается и проверяется его работоспособность и степень проникновения влаги внутрь корпуса.

Таким образом, созданный стенд позволяет проводить полный цикл испытаний на влагозащищенность в соответствии с требованиями [1] и может быть использован как в учебном процессе, так и на предприятиях приборостроения и электротехники.

Литература

1. ГОСТ 14254–2015 (IEC 60529:2013). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP). – М.: Стандартинформ, 2019. – 76 с.

УДК 681

ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Студент гр. 31302222 Гайдук Н. С.

Кандидат техн. наук, доцент Есьман Г. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Зубчатые колеса по точности изготовления подразделяют (в порядке убывания точности) на двенадцать степеней точности (1–12). В машиностроении наиболее распространены зубчатые колеса 6-й – 9-й степеней точности [1].

Зубчатые колеса являются сложными кинематическими парами, характеризующимися многими параметрами; диаметрами, шагами, эвольвентным профилем и кинематикой зацепления. Отклонения параметров ограничиваются допусками. Для систематизации допусков на зубчатые колеса и облегчения контроля их точности стандартами установлены три нормы: кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев в передаче, зависящие от степени точности колеса; четвертая норма точности – норма бокового зазора в передаче не зависит от точности колеса.

Контроль биения является одной из ключевых операций при оценке качества изготовления и сборки зубчатых передач, так как превышение допустимых значений биения напрямую влияет на плавность работы, уровень шума, равномерность распределения нагрузки по длине зуба и долговечность зацепления.

На рисунке 1 представлен общий вид прибора для контроля биения зубчатых колес. Он позволяет проводить измерения биения F_{rr} зубчатого венца (параметр норм кинематической точности) у зубчатых колес с модулем $m = 1 \dots 3,5$ мм и диаметром $d = 10 \dots 400$ мм.

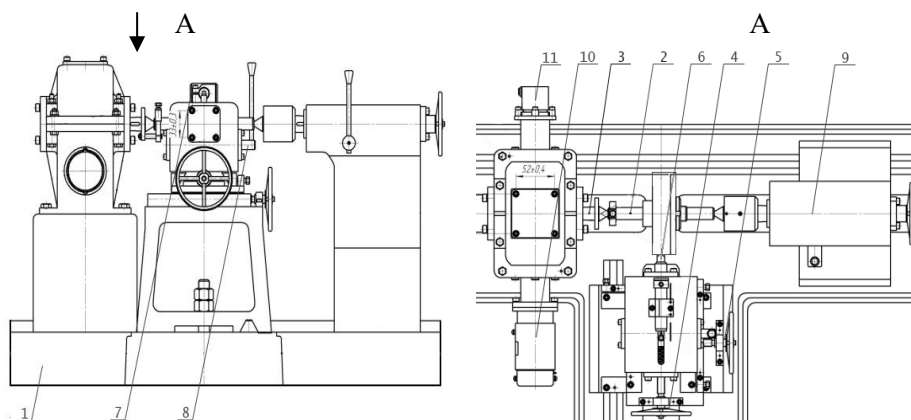


Рис. 1. Общий вид прибора для контроля биения зубчатых колес

Прибор работает следующим образом. Контролируемое зубчатое колесо базируется на оправку 2, которая установлена в центрах 3. В зависимости от диаметра колеса с помощью механизмов линейного перемещения 4 и 5 настраивают положение измерительного наконечника 6 во впадине зубчатого венца обновляются показания индуктивного преобразователя 7. С помощью рукоятки 8 пиноль 9 с преобразователем отводится от зубчатого колеса, включается электродвигатель 10 и через редуктор происходит поворот контролируемого зубчатого колеса на угол, фиксируемый энкодером 11. Затем рукояткой 8 возвращают наконечник 6 в новую впадину зубчатого венца. Цикл измерения повторяется.

Литература

1. Зимин, А. П. Техминимум контролера-машиностроителя / А. П. Зимин, А. В. Игнатов. – М.: Машгиз, 1957. – 322 с.

УДК 681.2.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМОЦИЙ НА МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Студенты гр. 11302123 Горох М. С., Маковская В. М.

Кандидат техн. наук, доцент Зайцева Е. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Эмоциональный фон конкретного человека может повлиять на успешное выполнение его функций, например, в космосе [1].

Цель исследования: сравнительный анализ зависимости частоты сигнала с максимальной амплитудой от психоэмоционального состояния человека.

В эксперименте приняли 8 человек. Предварительно моделировали их различное эмоциональное состояние (грустное, радостное) с помощью видеоконтента. Затем испытуемым предлагали произнести звук «А» при первом опыте и фразу «Погода осенью резко переменилась» при втором. Результаты анализа представлены в виде диаграмм на рис. 1.

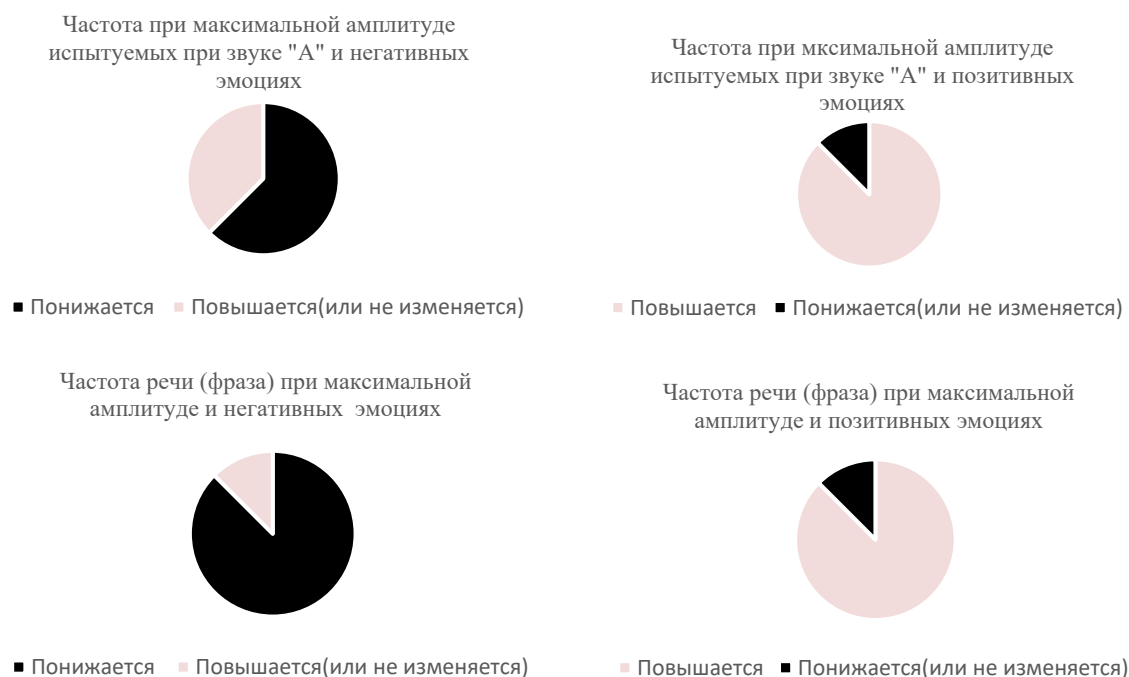


Рис. 1. Диаграммы изменения максимальной частоты речевого сигнала при разных эмоциях и разных типах сигналов

На основании исследований выявлено, что у 62,5 % испытуемых при записи звука «А» частота голоса понижается, при записи текста у 87,5 % понижается. При записи звука у 87,5 % частота повышается и при записи текста у 87,5% повышается частота.

Следует отметить, что при эксперименте изменяется не только частота с максимальной амплитудой, но и происходит смещение спектрального диапазона речи человека в целом.

Литература

1. Гушин, В. И. Дистанционная оценка психологического состояния космонавтов и взаимодействия между экипажем и ЦУП с помощью анализа радиопереговоров «борт-Земля» / В. И. Гушин, Д. М. Швед, А. К. Юсупова // Институт медико-биологических проблем РАН. – URL: <http://www.imbp.ru/webpages/WIN1251/Science/articlies/2016/Kontent.pdf> (дата обращения: 10.02.2026).

УДК 671.739 (075)

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ЖЕНСКИЕ УКРАШЕНИЯ ТУРКМЕНИСТАНА

Студент гр. 113913 Гылыджанов К.

Кандидат техн. наук, доцент Луговой В. П.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Туркмены – тюркский народ древнеогузского происхождения, упоминаемый в источниках начиная с VIII века. Древние прямые предки туркмен зафиксированы на территории Средней Азии не позднее V в. до н. э. Одежда и ювелирные украшения имеют древние традиции. Ювелирное дело является одним из древнейших видов обработки металлов.



Рис. 1. Национальная одежда и украшения туркмен

Туркменские украшения – серебряные, как правило, массивные, обильно орнаментированы; часть их имеет множество мелких изящных серебряных подвесок. Во всех украшениях широко применялись сердолик (хакык), несколько меньше – бирюза (пируза). Из технических приемов туркменские ювелиры более всего применяли гравировку и штамповку, края отделявали филигранью, а в некоторых, старинных украшениях применялась зернь. Узор большей части туркменских украшений выполнялся техникой позолоты по серебряной основе. Золочение производили с помощью ртути. Многие украшения туркмен-текинцев и иомутов были ажурными, орнамент создавался путем прорезания узора насквозь. Характер орнамента – геометрический орнамент в виде ромбов, треугольников, кругов и полукругов. Формы отдельных украшений уподоблены живым существам: птицам в полете, жукам, зайцам и др.

Комплекс женских украшений состоит из нескольких групп. Это головные, нагрудные, торсовые, накосные и наспинные, поясные, набедренные сумочки, наручные браслеты, ножные браслеты. Очень обширную группу образуют головные, в том числе налобные и накосные, украшения.

Наголовные и накосные – *гупба* – серебряное навершие на тюбетейке или на шапочке в виде купола с полой трубочкой в центре перьев, *сунсуле* – нарядное налобное украшение (синсиле, сумсуле, ченге, ильдирич, манлайлык), *адамлык* – височные подвески из штампованных пластин из серебра и сердолика, декорированные резьбой, гравировкой, золочением, *эзме* – украшение головного убора текинских женщин в виде широкой выгнутой трапецевидной серебряной пластины с позолотой и с прорезным орнаментом, инкрустированной сердоликом, *асык* – серебряные накосные украшения, которые служили подвеской к косам и выполняли роль оберега.

Нагрудные и наспинные украшения: *бозбент* – украшение, закрепляемое на одежде на спине, *буков* – массивное нашеедно-нагрудное украшение типа обруча или гривы, имеющее впереди фигурную пластину или систему пластин, скрепленных колечками с многочисленными подвесками,

енселик – наспинное украшение, носившееся в паре с *буков*, *генжик* (гонджик) – большое ромбовидное изделие, закрывающее нижнюю часть груди и, главное, живот женщины, *ачарбаг* – нагрудное украшение, закрывающее грудь и верхнюю часть живота женщин, *гульяка* – застежка ворота платья, имели вид круглой броши с фестончатым краем, сквозным прорезным узором в виде сердечек и стреловидных фигур (у текинок), *дагдан* – нагрудное украшение в виде фигурной пластины, *тумар* (*тумор*) – нагрудное украшение – амулет в виде треугольника.

Украшения на руки: браслеты (билезик), украшенные сердоликами и изящным гравированным орнаментом или филигранью, *билезик* – крупные браслеты, состоящие из нескольких рядов полос (может быть до восьми), порой закрывающие руку от запястья до локтя, *перстни*, *кольца* были распространены из серебра.

УДК 621.396.6

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДИНАМОМЕТР ЭЛЕКТРОННЫЙ

Студент гр. 11303124 Девочко В. В.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Измерение усилий растяжения и сжатия является ключевой задачей при контроле качества в машиностроении, приборостроении и при испытании различных материалов. Традиционные статические силоизмерители зачастую громоздки и не пригодны для оперативного контроля в условиях цеха или испытательного стенда [1]. Современное производство требует портативных и точных приборов, способных быстро проводить измерения в любых пространственных положениях. Электронные динамометры, интегрируют в себе тензометрическую технологию и обеспечивают цифровую обработку сигналов, поэтому разработка компактного универсального динамометра является актуальной задачей.

Целью данной работы является обоснование требований и концепции разработки универсального электронного динамометра, предназначенного для измерения статических и динамических усилий растяжения и сжатия в лабораторных и производственных условиях. Разрабатываемый прибор должен обеспечивать высокую точность измерений с возможностью регистрации пиковых нагрузок, обладать энергонезависимой памятью для накопления статистики, а также поддерживать современные интерфейсы связи (USB, Bluetooth) для передачи данных на внешние вычислительные устройства для последующей обработки и анализа.

Анализ существующих аналогов показал следующее. Модель Mark-10 M5-20 обладает высокой точностью, но имеет высокую стоимость. Динамометры серии АЦД/1У-0,1/ИИ-1 и Shimpo FGV-100H являются надежными, однако часто имеют ограниченный рабочий диапазон и не всегда обеспечивают необходимую эргономику (рис. 1). В отличие от них, разрабатываемая конструкция ориентирована на оптимальное сочетание компактности, ремонтпригодности и использования стандартизированных элементов питания.



Рис. 1. Динамометры: Mark-10 M5-20 (а), АЦД/1У-0,1/ИИ-1 (б), Shimpo FGV-100H (в)

Исходя из проведенного анализа, для успешной разработки электронного динамометра необходимо решить ряд конкретных задач. Прежде всего, требуется провести проектирование и оптимизацию упругого элемента с тензорезисторами, обеспечивающего линейность характеристики в заданном диапазоне нагрузок и минимизацию влияния паразитных деформаций и температурных дрейфов. Важной задачей является разработка схемы усиления слабого сигнала с тензомоста и его аналого-цифрового преобразования с высоким разрешением. Кроме того, необходима разработка алгоритмического и программного обеспечения для микроконтроллера,

реализующего функции фильтрации шумов, линеаризации характеристики, вычисления пиковых значений и управления интерфейсами ввода-вывода и связи. Заключительным этапом станет создание эргономичной и защищенной от внешних воздействий конструкции прибора, а также его метрологическая аттестация для подтверждения заявленных характеристик точности.

Литература

1. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов: учебник для вузов / В. И. Феодосьев. – 18-е изд., стер. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 541 с.

УДК 620.1.052.4

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ

Студент гр. 11302122 Дерман А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Есьман Г. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наилучший метод для испытания электротехнических изделий – это точное создание условий, которые могут возникнуть на практике, но в большинстве случаев это невозможно. Таким образом, испытания электротехнических изделий на пожароопасность лучше проводить, имитируя, насколько возможно, реальные воздействия, которые могут возникнуть на практике.

Цель работы. Проектирование стенда для проведения испытаний электротехнических изделий на пожароопасность, со следующими техническими характеристиками:

Таблица 1 – Технические характеристики стенда

Параметр	Значение
Габариты испытуемых изделий, мм	10 × 10 × 10..30 × 30 × 50
Материал испытываемых изделий	Твердый пластик, эбонит, текстолит
Максимальная масса испытываемого изделия, кг	2
Температура проволоки, °С	500..1000
Время выдержки, не более, с	30
Усилие давления, Н	1
Расстояние проникновения проволоки, не более, мм	7

Описание конструкции стенда (рисунок 1).

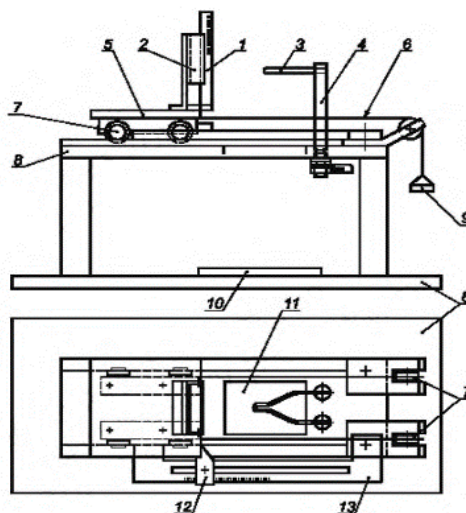


Рис. 1. Испытательный стенд:

1 – шкала для измерения высоты пламени; 2 – опора; 3 – раскаленная проволока; 4 – штырь; 5 – тележка; 6 – натяжной шнур; 7 – ролики; 8 – плита основания; 9 – груз; 10 – специальный слой; 11 – отверстие; 12 – регулируемый упор; 13 – регулятор проникновения

Метод испытаний. Испытуемый образец закрепляют на опоре 2. Раскаленную проволоку 3 нагревают до установленной температуры, которую измеряют с помощью термопары. До введения в соприкосновение конца раскаленной проволоки с испытуемым образцом необходимо убедиться, что установленная температура остается постоянной в пределах $\pm 5^\circ\text{C}$ в течении не менее 60 с. Затем конец раскаленной проволоки медленно вводят в соприкосновение с испытуемым образцом на (30 ± 2) с. Скорость приближения и удаления примерно от 10 мм/с до 25 мм/с считают достаточной, данная скорость достигается использованием грузиков 9, масса которых рассчитана для соблюдения вышеуказанной скорости. После окончания времени приложения раскаленную проволоку и испытуемый образец медленно разъединяют, избегая любого дальнейшего нагрева испытуемого образца и любых перемещений воздуха, которые могут повлиять на результаты испытаний. С этой целью стенд помещают в герметичную камеру. Проникновение конца раскаленной проволоки внутрь испытуемого образца или его перемещение насквозь образца должно быть ограничено расстоянием $(7,0 \pm 0,5)$ мм, это достигается при помощи регулируемого упора 12.

УДК 681

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

Студент гр. 11302122 Диндиков В. Ю.

Кандидат техн. наук, доцент Есьман Г. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Точность контроля на координатно-измерительных машинах (КИМ) напрямую зависит от правильного базирования детали. Цель работы – разработка трехосевого приспособления для позиционирования деталей на КИМ с улучшенными характеристиками.

Разработанное устройство (рис. 1) состоит из основания, двух поворотных рамок и столика. Привод каждой оси осуществляется от шаговых двигателей: по осям OX и OY – через червячные редукторы, по оси OZ – через зубчатую передачу. Контроль угла обеспечивается энкодерами.

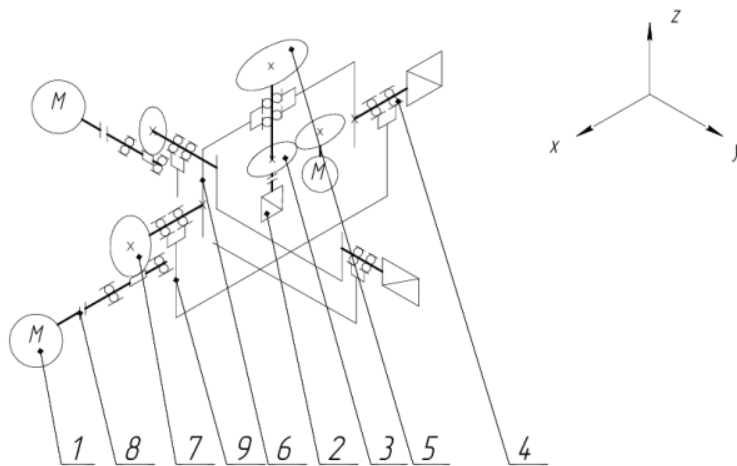


Рис. 1. Кинематическая схема устройства

Основные характеристики: нагрузка до 20 кг, диаметр стола 150 мм, диапазоны углов: $OX \pm 90^\circ$, $OY \pm 30^\circ$, $OZ 360^\circ$. Расчеты подтвердили работоспособность конструкции: момент на валу двигателя – 0,11 Н·м, вероятность безотказной работы за 2 000 ч – 93,4 %, погрешность позиционирования – не более $0,74^\circ$, что удовлетворяет требованиям ТЗ.

Таким образом, разработанное приспособление обеспечивает автоматизацию процесса позиционирования деталей на КИМ и может применяться на приборостроительных предприятиях.

Литература

1. Технологическое оборудование и оснастка в приборостроении. В 2 ч. Ч. 1 / сост.: М. Г. Киселев, Г. А. Есьман, В. Л. Габец. – Мн.: БНТУ, 2015. – 90 с.

УДК 67.02

ПАЙКА И СВАРКА – КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Студент гр. 10302224 Егорова М. Б.

Кандидат техн. наук, доцент Филонова М. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Сварка – процесс соединения металлов путем установления межатомных связей при нагреве и/или пластическом деформировании. Существует дуговая сварка, сварка в защитном газе, контактная сварка и газовая сварка. Сварка является базовым технологическим процессом в современном машиностроении и приборостроении, обеспечивая получение неразъемных соединений различной сложности и назначения [1].

Пайка технологический процесс соединения заготовок без их расплавления посредством введения между ними расплавленного промежуточного металла-припоя. Существует капиллярная пайка, диффузионная пайка, контактно-реактивная пайка, реактивно-флюсовая пайка и пайка-сварка [1]. Пайка занимает важное место в современном машиностроении и приборостроении благодаря возможности соединять разнородные материалы и обеспечивать высокую точность соединений [1].

В машиностроении сварка применяется при изготовлении широкой номенклатуры изделий – от рядовых металлоконструкций до ответственных корпусных узлов энергетического оборудования [3].

В приборостроении требования к сварке принципиально иные – здесь на первый план выходят прецизионность, миниатюрность и стабильность соединений.

В машиностроении пайка широко применяется при изготовлении сложных узлов, где требуется соединение тонкостенных элементов с массивными фланцами.

В приборостроении и электронной промышленности пайка является основным технологическим процессом при производстве печатных узлов и монтаже электронных компонентов.

Ключевые недостатки сварных соединений [1–3]: риск образования дефектов: трещины (микро- и макро-), поры, непровары, шлаковые включения и подрезы, значительно снижающие прочность; тепловые деформации: неравномерный нагрев вызывает коробление деталей и остаточные напряжения в металле; сложность контроля качества; необратимость: сварной шов нельзя разобрать без разрушения конструкции; изменение кристаллической структуры металла; человеческий фактор; пожароопасность, яркий свет, излучение и токсичные газы.

Ключевыми недостатками пайки являются [1, 3]: относительно невысокая механическая прочность соединений по сравнению со сваркой; образование интерметаллидных прослоек, проявляющих хрупкость при избыточной толщине; риск образования дефектов: пустоты, непропаи, перемычки, трещины, шарики припоя необходимость тщательной подготовки поверхностей для обеспечения смачиваемости; человеческий фактор.

Указанные проблемы в настоящее время помогают решить следующие мероприятия [1–3]. Аттестация технологий сварки и специалистов (WPS/WPQR). Внедрение современных источников питания и автоматизированных систем управления. Применение термической обработки сварных швов для снятия остаточных напряжений и нормализации структуры. Автоматизация процессов пайки (селективная, волной, оплавлением). Использование лабораторий неразрушающего контроля (ультразвук, радиография, и так далее). Соблюдение обновленных строительных норм и требований промышленной безопасности. Оптимизация состава припоев и флюсов, разработка материалов с улучшенными свойствами. Контроль условий хранения компонентов и точное дозирование припоя.

Основой решения проблем качества является концепция Всеобщего управления качеством (TQM), включающая ориентацию на потребителя, развитие человеческого потенциала и технологий [2].

Литература

1. Технология конструкционных материалов. Пайка и сварка металлов: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. С. И. Карпович. – Мн.: БГТУ, 2009. – 120 с.
2. Денисов, Л. С. Меры по совершенствованию сварочных производств на предприятиях Беларуси / Л. С. Денисов // CNB.by: Новости Белорусской науки и производства. – URL: <https://cnb.by/servisy/novosti/mery-po-sovershenstvovaniyu-svarochnyh-proizvodstv-na-predpriyatiyah-belarusi.html> (дата обращения: 17.03.2026).
3. Карпович, С. И. Технология конструкционных материалов. Пайка и сварка металлов: тексты лекций для студентов специальностей 1-36 05 01, 1-36 07 01 / С. И. Карпович. – Мн.: БГТУ, 2017. – 116 с.

УДК 376.23

ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ОСТЕОХОНДРОЗА ПОЗВОНОЧНИКА

Студент гр. 11307124 Зеньков Д. С.

Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Остеохондроз позвоночника – это хроническое стадийно-прогрессирующее заболевание, при котором происходит постепенная деградация межпозвоночных дисков и соседних с ними позвонков. К факторам, вызывающим возникновение остеохондроза позвоночника, относятся повышенный психоэмоциональный стресс, повышенные нагрузки на позвоночник, малоподвижный образ жизни, нарушение кровоснабжения тканей позвоночника [1]. Для уменьшения симптомов остеохондроза позвоночника используют медикаментозные методы, массаж, лечебную физкультуру, физиопроцедуры.

В докладе будут рассмотрены методы из области физиотерапии, такие как вибрационные технологии, ударно-волновая, лазерная, а также тракционная терапии.

В рамках исследования для определения эффективности виброплатформ были отобраны женщины возраста 35–40 лет с диагностированным поясничным остеохондрозом. Исследование проводилось 9 месяцев и по его окончании сравнили показатели двух групп до и после и обнаружилось, что средний показатель экспериментальной группы вырос на 19,86 %, в то время как во второй группе, занимающейся без вибротренажера, этот показатель улучшился лишь на 9,4 %, что доказывает высокую эффективность данного метода [1].

Исследование эффективности экстракорпоральной ударно-волновой терапии (ЭКУВТ) велось на 85 кроликах-самцах, в рамках которого исследовалось, возможно ли повлиять на репаративную регенерацию костной ткани посредством ЭКУВТ. В результате на финальный 45-й день было проведено обследование кроликов на содержание коллагена и гликозаминогликаны, которое показало их увеличение в сравнении с предыдущими обследованиями [2]. Это подтвердило эффективность влияния ЭКУВТ на регенерацию костной ткани посредством повышения проницаемости кровеносных сосудов, а, следовательно, увеличения кровотока и притока строительных клеток организма.

Для определения эффективности метода лазерной терапии в совокупности с физическими упражнениями проводилось исследование, в рамках которого 317 пациентов с подтвержденным шейным остеохондрозом с синдромом нестабильности позвоночно-двигательного сегмента (ПДС) проходили комплексное лечение. Результат курса лечения показал, что увеличение объема движений ПДС во всех направлениях, уменьшение дисбаланса мышц, увеличение объема движений в суставах, а также регрессия болевого синдрома более выражен в экспериментальной группе [3].

В рамках исследования изучалась эффективность программы реабилитации, включающей фитнес технологии, такие как йога и пилатес, гребной тренажер, а также аппарат для физиологического вытяжения позвоночника [4]. В результате, болевой эффект, нарушение сна и неудобство сидения к концу курса имели минимальный эффект. Кроме этого, определялась скорость восстановления сердечно-сосудистой системы после тренировок. К завершению лечения динамика восстановления оценивалась как «хорошее состояние системы кровообращения» [4].

Проведенные исследования показывают, что использование физиопроцедур приводит к уменьшению болевого эффекта, релаксации мышц, увеличению гибкости, а также усилению кровотока, что благоприятно сказывается на состоянии больного.

Литература

1. Применение вибротехнологий в комплексе реабилитационных мероприятий при начальных проявлениях поясничного остеохондроза у женщин 35–40 лет / Т. А. Хорошева, М. В. Кошелева, Н. И. Пономарева [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 157–164.
2. Влияние радиальной экстракорпоральной ударно-волновой терапии на заживление экспериментального дефекта кости / Г. И. Герцен, Се-Фей, Р. Н. Остапчук [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2016. – № 4. – С. 11–16.

3. Физиологические аспекты сочетанного применения физической реабилитации и лазеротерапии у пациентов с синдромом нестабильности позвоночно-двигательных сегментов / Н. А. Сумный, Е. И. Львовская, Д. Б. Сумная [и др.] // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 21. – С. 96–100.

4. Давлиев, Р. А. Эффективность программы реабилитации при остеохондрозе 1–2 степени / Р. А. Давлиев, Е. С. Волкова // Ученые записки Университета имени П. Ф. Лесгафта. – 2024. – № 1. – С. 41–44.

УДК 681

СИСТЕМА АНАЛИЗА ВИБРАЦИЙ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ 3D-ПРИНТЕРА

Студент гр. 31303122 Захвицевич В. А.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современная высокоскоростная 3D-печать (300–500 мм/с) сталкивается с проблемой динамических искажений, вызванных вибрациями подвижных частей. Вибрации возникают вследствие резонанса – явления, при котором частота управляющих воздействий совпадает с собственными частотами механической конструкции, что приводит к появлению дефектов (ghosting, ringing) и снижает точность размеров. При скоростях свыше 150 мм/с вибрации становятся доминирующим фактором, ответственным за 60–70 % дефектов печати. Существующие решения (Creality K1, Bambu Lab P1S) используют встроенные системы калибровки на базе дорогостоящих компонентов либо закрытое программное обеспечение, что ограничивает их применение в бюджетном сегменте. Целью работы является разработка автономного измерительного устройства для анализа вибраций с возможностью последующей передачи параметров компенсации на управляющую плату принтера.

Предлагаемая система представляет собой независимый измерительный блок, который крепится на печатающую голову принтера в процессе калибровки. Устройство состоит из нескольких элементов: микроконтроллера, выполняющего функции сбора данных и их спектральной обработки; трехосевого цифрового датчика вибраций с широким динамическим диапазоном; дисплея для индикации параметров; блока тактильных кнопок управления; стабилизатора питания для работы от штатного источника напряжения принтера.

Частота дискретизации датчика выбрана с достаточным запасом для анализа механических резонансных частот 3D-принтера (до 1000 Гц), что позволяет точно идентифицировать резонансные пики конструкции. Встроенный микроконтроллер выполняет быстрое преобразование Фурье (БПФ) для перевода сигнала из временной области в частотную и выделения доминирующих резонансных частот. Результаты измерений отображаются на дисплее в численном виде.

Разработан алгоритм работы системы, предусматривающий два основных режима. В режиме ручной диагностики пользователь задает ось перемещения, микроконтроллер запускает запись данных с датчика при движении принтера, выполняет спектральный анализ и выводит на экран рассчитанную резонансную частоту. Режим автоматической настройки предусматривает последовательную диагностику осей X и Y с сохранением результатов во встроенной памяти. Устройство также оснащено интерфейсом для подключения к управляющей плате принтера, что позволяет передавать рассчитанные параметры фильтров Input Shaping непосредственно в конфигурацию устройства. Таким образом, полученные данные могут быть использованы для настройки алгоритмов резонансной компенсации в прошивке принтера, обеспечивая подавление колебаний еще на этапе планирования траекторий.

Разработанная система анализа вибраций позволяет определить резонансные частоты 3D-принтера с использованием доступной элементной базы, работая как автономный измерительный прибор. Возможность передачи данных калибровки на управляющую плату обеспечивает интеграцию устройства в существующую экосистему принтера. Применение системы сокращает время настройки оборудования и повышает качество высокоскоростной печати без использования дорогостоящих компонентов.

УДК 621.8

ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО И НЕРАВНОМЕРНОГО ОТРЫВА КЛЕЙКИХ ЛЕНТ

Магистрант гр. 51315024 Иоффе К. В.

Кандидат техн. наук, доцент Монич С. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Клейкие ленты – это универсальный и надежный материал, который широко используется в самых разных отраслях: от строительства и упаковки до электроники и медицины. В основе их работы лежит ключевое физико-химическое явление – адгезия [1].

Выбор конкретного оборудования для определения адгезионной прочности напрямую зависит от применяемой методики, типа материалов, требуемой точности и условий испытаний. В связи с отсутствием единого стандартизированного подхода, парк используемых приборов крайне разнообразен – от простых механических приспособлений до сложных автоматизированных комплексов. Ниже представлен детальный обзор типичных устройств, применяемых для методов равномерного и неравномерного отрыва.

Устройства для метода равномерного отрыва предназначены для приложения нагрузки, перпендикулярной плоскости покрытия, с целью его одновременного отрыва от всей площади контакта [2]. Ключевое требование – обеспечение идеальной соосности нагрузки для предотвращения сдвигающих компонентов.

Наиболее точным и универсальным решением являются универсальные испытательные машины (UTM) с оснасткой для отрыва. Они работают в сочетании со специальными приспособлениями (грибками, пуассонами, стержнями), которые наклеиваются на покрытие. Принцип работы заключается в создании машиной плавно возрастающего растягивающего усилия, приложенного к склеенному штоку, до момента отрыва покрытия. Сила и энергия разрушения регистрируются высокоточными датчиками. Такие системы позволяют проводить испытания по строгим стандартам (ASTM D4541, ISO 4624) и обеспечивают максимальную воспроизводимость за счет контроля скорости нагружения и автоматизированной записи диаграмм «напряжение-деформация» [2]. Основными поставщиками подобного оборудования являются компании Instron, Zwick/Roel, Tinius Olsen.

Устройства для метода неравномерного отрыва (отслаивания) измеряют усилие, необходимое для распространения расслоения от инициированного края образца. Конфигурация установки жестко зависит от угла отслаивания (90° , 180° , T-peel) и механических свойств соединяемых материалов.

Как и в случае с равномерным отрывом, универсальные испытательные машины (UTM) с соответствующим набором оснастки представляют собой «золотой стандарт» для лабораторных испытаний. Образец закрепляется в захватах, а угол отслаивания точно поддерживается с помощью системы направляющих роликов. Подвижный захват перемещается с постоянной скоростью, а датчик силы регистрирует сопротивление отслаиванию. Такой подход, регламентированный стандартами (ASTM D903, ASTM D1876, ISO 8510), обеспечивает получение репрезентативной кривой «усилие-перемещение», по которой можно оценить не только среднее, но и минимальное/максимальное усилие отслаивания, что важно для анализа однородности адгезии [2].

Для операционного контроля в промышленности, особенно при оценке адгезии клеящих лент, этикеток, гибких пленок и ламинатов, разработаны более простые специализированные тестеры отслаивания (Peel Testers). Примером такого прибора является ChemInstruments PT-2000 Peel Tester. Он представляет собой компактную настольную электромеханическую установку с программируемой скоростью и углом отслаивания (обычно 90° или 180°), цифровым дисплеем и возможностью подключения к ПК. Его преимущество перед полностью ручными моделями – стандартизация скорости и угла, что повышает воспроизводимость.

Литература

- Орешкин, Н. А. Современные устройства для испытания изоляционных материалов / Н. А. Орешкин // Вестник технических наук. – 2020. – № 5. – С. 65–72.
- ASTM D1000-17. Standard Test Methods for Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used for Electrical and Electronic Applications. – West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017. – 20 p.

СТОЛ ДЛЯ МАССАЖА

Студент гр. 11307222 Калпак Д. И.

Кандидат техн. наук, доцент Есьман Г. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Актуальность разработки нового медицинского оборудования для реабилитации обусловлена необходимостью персонализации лечебного процесса и повышения его эффективности, особенно для пациентов с ограниченными физическими возможностями, лиц пожилого возраста и людей с ампутированными конечностями. Существующие аналоги, как правило, либо требуют активного участия пациента (отталкивание ногами), либо фиксируют тело в неудобном положении, что делает их непригодными для ослабленных больных. Главным недостатком прототипов является отсутствие гибкой настройки параметров массажного воздействия, что приводит к болезненным ощущениям у пациентов на начальных этапах терапии и снижает общую эффективность лечения.

Представленная кинематическая схема на рисунке 1 иллюстрирует устройство специализированного массажного стола, предназначенного для механизации процесса воздействия на мышечные ткани пациента. Конструкция стола является комбинированной и предусматривает два режима работы: основной (автоматизированный) от электрического двигателя и вспомогательный (ручной) для точной настройки или аварийного приведения механизмов в действие.

Основным источником механической энергии является электродвигатель 2. Для плавной регулировки скорости вращения вала двигателя в схеме предусмотрен преобразователь частоты 1, что позволяет изменять интенсивность массажного воздействия (частоту хода рабочих органов). От двигателя вращение передается на входной вал 4 посредством первой ременной передачи 3. Использование ремня позволяет снизить вибрации от двигателя и сделать работу механизма более плавной и малошумной.

Входной вал через редуктор передает крутящий момент на выходной вал для снижения оборотов и увеличения усилия. На выходном валу жестко закреплен кулачок, преобразующий вращение в возвратно-поступательное движение массажных элементов через систему рычагов. Для обеспечения прямолинейности и легкости хода подвижных частей механизма служат направляющие качения 9.

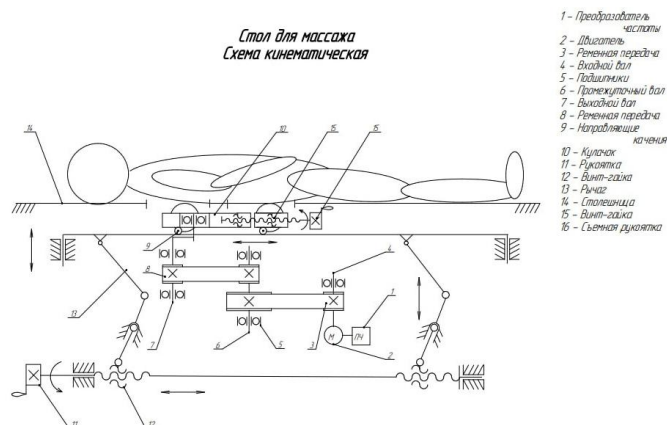


Рис. 1. Стол для массажа схема кинематическая

Для изменения положения рабочих органов (например, регулировки высоты стола, угла наклона или силы прижатия кулачка) конструкция оснащена винтовыми механизмами. Винт-гайка 12 и винт-гайка 15 предназначены для точной механической настройки положения узлов. Управление этими регулировками осуществляется при помощи рукоятки 11 и съемной рукоятки 16. Наличие съемной рукоятки повышает безопасность и эргономичность: она устанавливается только на время настройки, чтобы исключить случайное изменение параметров во время работы.

Для ручного привода механизма (в случае отключения электроэнергии или необходимости медленной ручной проработки) предусмотрен рычаг 13. Элемент, обозначенный как столешница 14,

предположительно, является частью станины или корпуса, обеспечивающей жесткость и фиксацию всех узлов в пространстве.

Представленная кинематическая схема демонстрирует продуманное техническое решение для массажного стола, сочетающее электромеханический привод с возможностью точной ручной регулировки. Использование ременных передач обеспечивает плавность хода и снижение шума, что критически важно в массажных кабинетах, а наличие ручных регуляторов и дублирующего рычага повышает надежность и функциональность оборудования.

УДК 617.3

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ВРЕМЕНИ НОШЕНИЯ ORTHOTIMER ДЛЯ КОРСЕТА ШЕНО

Студент гр.11307124 Кижло М. В., аспирант Богдан Д. Ю.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном мире из-за малоподвижного образа жизни людей, сколиоз стал одним из самых распространенных патологий позвоночника. Чаще всего болезнь проявляется у детей и подростков в период активного роста. При отсутствии должной терапии быстро переходит из 1-ой и 2-ой степени в трудно обратимые формы – 3-ю и 4-ую степени. На поздних стадиях искривления видны невооруженным глазом и доставляют пациенту неудобства в повседневной жизни.

Лечение сколиоза может быть консервативным или может включать в себя хирургическое вмешательство (крайняя мера на поздних стадиях). Консервативное лечение подразумевает регулярное ношение корсета Шено, занятия лечебной физкультурой и плаванием, посещение массажей. Для достижения максимальных результатов от лечения, больному необходимо с точностью выполнять все рекомендации врача, что бывает непросто, так как чаще всего пациентами являются дети. И нередко бывают ситуации, когда ребенок не желает или просто забывает носить корсет, а их родители не всегда могут контролировать ношение, из-за чего лечение будет неэффективным. Решением такой проблемы будет наличие в конструкции корсета датчика ношения, который позволит отслеживать всю информацию об использовании ортопедического изделия [1].

Orthotimer – это электронная система учета времени ношения медицинского устройства для клинического и научного применения. Система подразумевает непосредственно сам датчик и программное обеспечение. Датчик представляет собой небольшой пыленепроницаемый микросенсор размерами $13 \times 9 \times 5$ мм, который легко можно внедрить в корсет. Микросенсор круглосуточно измеряет температуру через каждые 15 минут и сравнивает ее с нужным диапазоном: если температура от 29,0 до 38,5 °C, датчик воспринимает, что изделие сейчас на человеке, а если температура больше или меньше этого диапазона, то устройство не фиксирует использование предмета. Каждому датчику соответствует уникальный идентификационный номер, с помощью чего врач может отслеживать информацию об использовании медицинского изделия отдельного пациента, проводить сбор данных для исследований. Максимальная память устройства 100 дней, после чего данные должны быть переданы на компьютер. После передачи данных с датчика, информация о ношении продолжит записываться и заполняться через то же период. Время работы от батареи микросенсора после активации беспроводной связи составляет не менее 18 месяцев. Программное обеспечение системы представляет собой специальное приложение (пример: «ScolioSense»), с помощью которого врач или пациент может отслеживать всю информацию о ношении корсета. Чтобы подключить датчик к приложению нужно поднести телефон с системой NFC максимально близко к самому датчику с внутренней стороны корсета и дождаться соответствующего сигнала подключения [2].

Для получения более точных данных рекомендуется внедрять датчик в то место конструкции, где он будет плотнее прилегать к телу. А чтобы избежать вандализма со стороны пациента, рекомендуется использовать с внутренней стороны корсета гелевую подкладку. Однако стоит учесть, что слишком толстая или слишком тонкая подкладка могут нарушить восприятие датчика окружающей среды. Встраивают датчик либо вклеиванием, либо впаиванием. При применении высоких температур рекомендуется использовать сначала макет для образования выемки в изделии, а уже после интегрировать сам датчик [2].

Таким образом, система отслеживания ношения ортопедических изделий могла бы стать незаменимой частью всего лечения и основой для сбора данных в научных целях, так как с ее помощью врач не только понимает эффективность ортопедического изделия, но и сам пациент замотивирован в использовании корсета и более ответственно подходит к рекомендациям врача.

Если учесть стремительное развитие науки и техники в Беларуси, то в ближайшем будущем такие датчики вскоре станут неотъемлемой частью консервативного лечения сколиоза.

Литература

1. Датчик ношения корсета // Scoliotic. – URL: <https://scoliotic.ru/bezoperaczionnoe-lechenie-skolioza/vse-o-skolioze/corsets/datchik-nosheniya-korseta/> (дата обращения: 27.02.2026).
2. Roller, M. Beschreibung eines Systems zur Messung der Tragezeit orthopädischer Hilfsmittel / M. Roller // Orthopädie Technik. – 2013. – Vol. 64, № 12. – P. 22–27. – URL: <https://360-ot.de/beschreibung-eines-systems-zur-messung-der-tragezeit-orthopaedischer-hilfsmittel/> (дата обращения: 27.02.2026).

УДК 534-8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИДКИЕ СРЕДЫ

Магистрант гр. 61315025 Коляда Е. А., студент гр. 11302123 Маковская В. М.

Д-р техн. наук, доцент Степаненко Д. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Ультразвуковая технология нашла широкое применение в промышленности, медицине и машиностроении. В общем случае, в технологических процессах используется контактное воздействие ультразвука, однако на данный момент известны и бесконтактные процессы. Технологии бесконтактного ультразвукового воздействия имеет широкий спектр потенциальных применений и обладает рядом достоинств, поэтому она представляет интерес для изучения.

В ходе изучения процесса бесконтактного ультразвукового воздействия на жидкие среды были проведены экспериментальные исследования, некоторые из которых описаны ниже.

Для визуализации волн, возникающих на поверхности жидкости при воздействии ультразвука, был использован лазерный модуль с линейным фокусом. Он устанавливался таким образом, что луч проходил под ультразвуковым концентратором и после отражения от поверхности жидкости проецировался в виде горизонтальной линии на плоскую вертикальную поверхность экрана. Под действием ультразвука, излучаемого концентратором, поверхность жидкости деформируется, что проявляется в виде искривления линии на поверхности экрана (рисунок 1). Такой эффект возникает при малых мощностях. При увеличении мощности выше некоторого порогового значения линия на экране перестает быть четкой из-за возникновения автоколебаний жидкости. Скоростная видеосъемка линии на поверхности экрана позволяет определять частоту автоколебаний жидкости.

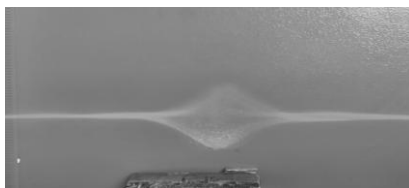


Рис. 1. Проекция лазерного луча на поверхность экрана

Также был проведен эксперимент по изучению распределения амплитуды колебаний по поверхности концентратора (рисунок 2). Этот эксперимент служит аналогом эксперимента Эрнста Хладни, который использовал порошок, образующий сложные фигуры на поверхности колеблющейся пластинки под воздействием механических колебаний с концентрацией порошка на узловых линиях (для крупных частиц) или в пучностях (при использовании микропорошка).

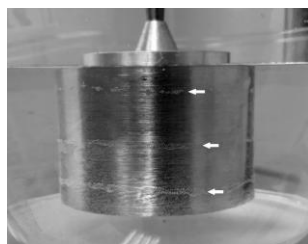


Рис. 2. Распределение пузырьков по поверхности концентратора

При погружении работающего концентратора в воду вблизи узлов вибрации под действием акустической радиационной силы скапливались пузырьки воздуха. Такой эффект наблюдался только на частоте, близкой к резонансной частоте излучателя и позволяет визуализировать распределение узловых линий по поверхности концентратора.

УДК 621.8

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛАДОТЕКУЧЕСТИ КАУЧУКА

Студент гр. 31302222 Косьянчук В. И.

Кандидат техн. наук, доцент Монич С. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Каучуки – это природные или синтетические полимеры, которые обладают эластичностью и высокой способностью к растяжению. Они широко используются в производстве резины, герметиков, покрытий и других материалов [1].

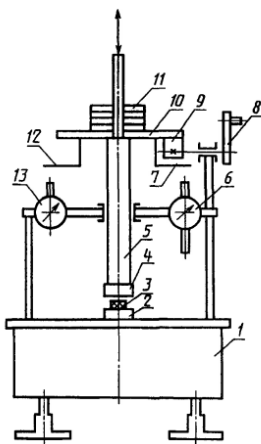


Рис. 1. Схема прибора для определения хладотекучести каучука:

- 1 – плита неподвижная нижняя, служащая основанием прибора; 2 – площадка нижняя сжимающая; 3 – образец; 4 – площадка верхняя сжимающая; 5 – шток; 6 – секундомер; 7 – планка контактная к головке секундомера; 8 – рукоятка; 9 – эксцентрик; 10 – плита верхняя подвижная; 11 – груз; 12 – планка контактная к мерительному штифту микрометра; 13 – микрометр индикаторный

Испытания на хладотекучесть каучуков необходимы для оценки их поведения при низких температурах, что важно для применения в условиях холода. Хладотекучесть (или холодная текучесть) – это способность материала сохранять свои свойства и функционировать при низких температурах, а также сопротивляться деградации или потере механических характеристик.

Разрабатываемый прибор относится к устройствам для испытания каучуков на хладотекучесть и может применяться в научно-исследовательских учреждениях, промышленных предприятиях, в сертифицированных лабораториях.

Хладотекучесть (ХТ), в мм/ч, вычисляют по формуле [2]:

$$ХТ = \frac{4 \cdot 3600}{\tau},$$

где 4 – величина деформации сжатия, мм; 3 600 – число секунд в 1 ч; τ – время сжатия образца с 8 до 4 мм, с.

На рисунке 1 представлена предлагаемая схема прибора для определения хладотекучести каучука согласно ГОСТ 19920.18-74 [2, 3].

Литература

1. Карпинский, В. А. Механические испытания полимерных и композиционных материалов / В. А. Карпинский. – М.: Химия, 1990. – 165 с.
2. ГОСТ 19920.18-74. Каучуки синтетические стереорегулярные бутадиеновые. Метод определения хладотекучести. – Введ. 01.01.1975. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1974. – 3 с.

3. Пластомер для каучуков и резиновых смесей МТ 212 // Metrotex.ru. – URL: <https://www.metrotex.ru/products/ustanovka-dlya-opredeleniya-pokazatelei-plastichnosti-i-elasticheskogo-vosstanovleniya-rezinovykh-smesei-kauchukov-mt-212-gost-iso-7323-96> (дата обращения: 17.03.2026).

УДК 620.193.2

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СТОЛОВЫХ ПРИБОРОВ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Студент гр. 11302122 Кулаков Д. А.

Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Коррозионная стойкость является одним из ключевых показателей качества столовых приборов, определяющим их долговечность, гигиеничность и внешний вид. Изделия, не устойчивые к коррозии, под воздействием агрессивных сред (пищевые кислоты, моющие средства) теряют блеск, образуют очаги ржавчины и могут выделять вредные вещества. Для контроля качества столовых приборов из нержавеющей стали применяются стандартизированные методы коррозионных испытаний.

Одним из распространенных методов является испытание выдержкой образцов в растворе хлористого натрия, которое позволяет оценить коррозионную стойкость защитных и декоративных покрытий столовых приборов, а также стойкость столовых приборов без покрытий [1].

На рис. 1 представлена принципиальная схема устройства для испытания столовых приборов на коррозионную стойкость, реализующая указанную методику.

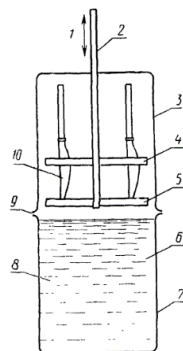


Рис. 1. Схема устройства для коррозионных испытаний

Сущность метода заключается в следующем. Испытуемые образцы столовых приборов (ложки, вилки, ножи) обезжириваются органическим растворителем (например, спиртом или ацетоном). Подготовленные образцы погружают в испытательную камеру 7, заполненную 3 % раствором хлористого натрия (NaCl) температурой $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Образцы устанавливают в держателе 4 таким образом, чтобы они не контактировали друг с другом и со стенками камеры. Продолжительность испытания составляет 6–8 часов [2]. После выдержки образцы извлекают, промывают дистиллированной водой, высушивают фильтровальной бумагой и визуально оценивают наличие коррозионных поражений. Результат считают удовлетворительным, если на поверхности образцов отсутствуют видимые следы коррозии. При обнаружении коррозии хотя бы на одном образце проводят повторные испытания на удвоенном количестве образцов.

Литература

1. ГОСТ 28973-91. Приборы столовые из нержавеющей стали и с серебряным покрытием. Общие требования и методы контроля. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 28 с.

УДК 621.396.6

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ РЕГИСТРАТОР

Студент гр. 11303124 Кулик У. С.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

На современном этапе эволюции технологий в промышленности, энергетике и научных исследованиях наблюдается устойчивая тенденция к усложнению процессов и повышению планки требований к достоверности контролируемых параметров. В этих условиях ключевое значение приобретает объективный контроль и регистрация показаний множества датчиков, распределенных в пространстве. Традиционные бумажные самописцы, долгое время служившие основным средством визуализации и документирования данных, морально и технически устарели, не отвечая современным требованиям по точности, функциональности и удобству эксплуатации.

Целью данной работы является разработка системных технических требований к конструкции портативному многоканальному измерительному регистратору, предназначенному для замены устаревших устройств и применения в системах цифровых системах мониторинга на объектах промышленности.

Наиболее распространенные конструкции измерительные регистраторы представлены на рис.1. Регистратор «Метран-900» отличается удачной распределенной архитектурой, где блок коммутации связан с регистратором по цифровому интерфейсу и обеспечивает наглядностью отображения информации. Однако к недостаткам можно отнести использование устаревшего черно-белого дисплея и интерфейса RS-232. Более современный видеографический регистратор «ИНТЕГРАФ-1100» также предлагает распределенную архитектуру, поддерживает широкий спектр входных сигналов и обеспечивает передачу данных по Ethernet. Существенным преимуществом является возможность удаленного доступа к панели через VNC. Недостатком является относительно невысокую скорость опроса каналов, что ограничивает его применение для быстропротекающих процессов. Высокоскоростные специализированные решения, такие как продукция Dewesoft и Yokogawa, обеспечивают высокую частоту дискретизации и синхронность измерений, однако их коренным недостатком остается высокая стоимость, ориентированная на аэрокосмическую отрасль, что делает их избыточными для промышленного мониторинга. Существуют также программные продукты для мобильных устройств «SoundMeter Pro», однако они ограничены встроенными аппаратными средствами, не обеспечивают необходимой точности, гальванической развязки и помехозащищенности, требуемых в промышленных условиях.



Рис. 1. Измерительные регистраторы: Метран-900 (а); ИНТЕГРАФ-1100 (б); Dewesoft (в); SoundMeter Pro (г)

Для разработки конструкции конкурентоспособного портативного многоканального измерительного регистратора необходимо решить комплекс задач: разработать конструкцию несущих конструкций и защитного корпуса прибора, оптимизировать виды конструкционных материалов для обеспечения функционирования прибора в заданных условиях; разработать модульную и масштабируемую архитектуру на основе выносных модулей сбора данных с универсальными входами и центральной панели оператора с цветным сенсорным дисплеем; необходимо предусмотреть современные способы архивации и передачи данных и обеспечить надежность за счет модульной конструкции, горячей замены модулей и энергонезависимой памяти, что в итоге позволит создать гибкий и экономически оправданный прибор для промышленности и научных исследований.

Литература

1. Метран-900. Регистратор технологический: руководство по эксплуатации / ПГ «Метран». – Челябинск, 2015. – 62 с.
2. ИНТЕГРАФ-1100. Видеографический регистратор: руководство по эксплуатации / НПФ «Контрафт». – Н. Новгород, 2018. – 58 с.
3. Dewesoft. Измерительные системы и регистраторы / Dewesoft. – Trbovlje, 2022. – 124 с.

УДК 66.081

РАСЧЕТ ПРОЦЕНТНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ ИЗ КРОВИ ПРИБОРОМ ГЕМОС-ПФ

Студент гр. 11308125 Левкевич И. С.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Прибор ГЕМОС-ПФ – портативная система пульсовых насосов с лепестковыми микроклапанами, предназначенная для разделения крови фильтрационным методом на плазму и форменные элементы. В аппарате используются атравматичные для клеток крови механизмы, не подразумевающие наличие пережимов и клапанов, роликовых, пальчиковых, шприцевых насосов и громоздких центрифуг. Аппарат временно замещает некоторые функции печени и почек. Наиболее широко применяются в практике фильтрации крови от токсических и патологических продуктов. Из-за простоты конструкции и принципа работы аппарат универсален во всех областях и условиях применения. Вес, габариты и объем контура крови в 4–6 раз меньше, чем у импортных аналогов Haemonetics и др. Прибор на практике отличается высокой клинической эффективностью, повышенной безопасностью и экономичностью [1]. Имеет более широкий спектр функций, чем стационарные аппараты.

С помощью аппарата ГЕМОС-ПФ реализуются лечебные методы: плазмаферез лечебный, аутодонорский, плазмообмен; плазмо-, лимфо-, гемосорбция; ультра-, гемофильтрация, активная инфузия; отмывание клеток крови, аутогемотрансфузия. Аппарат производится компанией НПП «Биотех-М» [2].

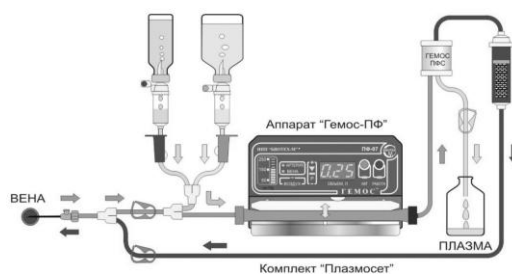


Рис. 1. Общий вид прибора ГЕМОС-ПФ

Проведем расчет процентного выделения плазмы из крови аппаратом ГЕМОС-ПФ по формуле:

$$V_{\text{пл}} = V_{\text{ф}}(V_{\text{н}} - V_{\text{а}} - V_{\text{и}}) / (V_{\text{н}} + (V_{\text{а}} + V_{\text{и}}) \cdot H_{\text{т}} \cdot (1 + H_{\text{т}})), \quad (1)$$

где $V_{\text{пл}}$ – объем плазмы в фильтре; $V_{\text{ф}}$ – объем фильтрата; $V_{\text{н}}$ – ударный объем насоса; $V_{\text{а}}$, $V_{\text{и}}$ – объемы антикоагулянта и инфузата; $H_{\text{т}}$ – гематокрит в долях [3].

К примеру, получены показатели: $V_{\text{н}} = 10$ мл, $V_{\text{а}} = 2$ мл, $V_{\text{и}} = 0$, $H_{\text{т}} = 0,4$ (40 %).

Если за процедуру получен объем фильтрата $V_{\text{ф}} = 1000$ мл, то, подставляя эти значения в формулу (1) можно определить объем выделенной плазмы $V_{\text{пл}} = 700$ мл.

Таким образом, можно утверждать, что прибор ГЕМОС-ПФ (рис. 1) способен выделять плазму из крови с эффективностью до 70 %.

Прибор ГЕМОС-ПФ широко используется в стационарных, амбулаторных, полевых и «на выезде» условиях, может оказывать помощь на дому пациентам всех возрастных групп, включая детей от 1 года.

Литература

1. Аппарат для плазмафереза «Гемос-ПФ» портативный, многофункциональный // Гемос. – URL: <https://www.gemos.ru/products/0/94/> (дата обращения: 04.02.2026).
2. Научно-производственное предприятие «Биотех-М» // Биотех-М. – URL: <https://www.gemos.ru> (дата обращения: 08.02.2026).
3. Воинов, В. А. Эфферентная терапия. Мембранный плазмаферез / В. А. Воинов. – СПб.: Эскулап, 2002. – 140 с.

УДК 796.382.3

ЮСТИРОВКА БИЛЬЯРДНОГО СТОЛА ДЛЯ СНУКЕРА

Студент гр. 11302123 Леонович А. С.

Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Снукер предъявляет высокие требования к качеству игровой поверхности среди всех видов бильярда. Стандартный 12-футовый стол имеет игровое поле размером $3\,569 \times 1\,778$ мм и состоит из нескольких элементов (рис. 1): столешницы, состоящей из пяти плит натурального сланца 1 (ардезии) (рис. 2); рамы 2; ножек 3; бортов 4; луз 5; покрытия 6 (сукна) [1].



Рис. 1. Конструктивные элементы стола для снукера



Рис. 2. Плиты из ардезии бильярдного стола

Регулировка плоскостности поверхности и горизонтальной плоскости бильярдного стола – это важная операция, которая напрямую влияет на качество игры. Даже незначительные отклонения от указанных параметров, могут существенно изменять траекторию движения шаров, что в итоге влияет на результат игры. Для обеспечения точности движения шара отклонение от плоскостности не должно превышать 0,1 мм на метр [3].

Основание под столом должно выдерживать нагрузку до 1 250 кг. Малейшая неровность пола приводит к перекосу игрового поля. Процесс монтажа начинается с нивелирования рамы в опорных «чашках» с помощью регулировочных болтов. Плиты из ардезии укладываются на подложку либо прямо на перемычки рамы или винтовые регулируемые опоры – особенно в случае толстых плит с торцевым креплением борта. Сначала с помощью подъемных винтов на опорах выставляют общую высоту рамы: верхняя поверхность подложки должна быть параллельна полу и находиться на высоте 790–800 мм. Затем укладывают плиты и регулируют их положение. Для этого в подложке и перемычках высверлены ступенчатые отверстия с врезными гайками (М10 или М12) и круглыми стальными пластинами. Снизу в гайку ввинчивается болт – он не служит основной опорой, а помогает слегка приподнять плиту для укладки прокладок. Если регулировочных болтов нет, положение плит корректируют прокладками, подкладываемыми под плиту. Для юстировки бильярдных столов применяют гидростатические, брусковые и электронные уровни [2].

Математически суммарное отклонение плоскостности Δ в контрольной зоне определяется как разность между максимальным и минимальным значениями высоты профиля $\Delta = h_{max} - h_{min}$, где h_{max} и h_{min} – максимальное и минимальное отклонения точек измерения относительно базового горизонта.

Среднее отклонение для группы измерений δ рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{|h_1| + |h_2| + \dots + |h_n|}{n},$$

Когда требуемое положение достигнуто, регулировочные винты застопоривают контргайками, а плиты закрепляют саморезами. После фиксации проводят повторную проверку плоскостности и горизонтальности – крепление может повлиять на положение плит. В завершение выполняют натяжку сукна веерным методом от средних луз к углам, чтобы исключить микроскладки.

Литература

1. Все, что нужно знать о бильярдных столах // Stroy-podskazka.ru. – URL: <https://stroy-podskazka.ru/bilyardnaya/vse-o-stolah/> (дата обращения: 11.02.2026).
2. Панкратьев, А. Е. Бильярдный стол своими руками / А. Е. Панкратьев. – 138 с. – URL: https://ru-billiards.ucoz.ru/Archive/2008_Pankratjev.pdf (дата обращения: 25.02.2026).
3. Правила вида спорта «Бильярдный спорт»: утв. приказом Минспорта России от 12.10.2015 № 942: в ред. от 06.11.2024. – URL: <https://www.minsport.gov.ru> (дата обращения: 11.02.2026).

УДК 629.3.002.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДОВ ДЛЯ САДОВО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ СТРАН СНГ

Студент гр. 11302222 Линкевич Д. А.

Кандидат техн. наук, доцент Савченко А. Л., ст. преподаватель Колесников В. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Садово-строительная техника эксплуатируется с сыпучими грузами (песок, щебень, камни, гравий) на грунтовом покрытии, в грязи и при температурах до -30°C . Проведен сравнительный анализ гидравлического и электрического приводов по 20 критериям (таблицы 1 и 2) с учетом реальных цен марта 2026 года (Alibaba, AliExpress).

Таблица 1 – Стоимость комплектующих (март 2026, Китай, розница с доставкой в РБ)

Компонент	Гидропривод, USD	Электропривод, USD
Двигатель/моторы (4 шт.)	90–110 + 280–384	952–1120
Насос/контроллер	45–70	95–150
Распределитель/аккумулятор	55–80	350–450
Дополнительные элементы	180–220	120–180
Итого	670–860	1517–1900

Таблица 2 – Сравнение для садовой техники в условиях СНГ

Параметр	Гидропривод	Электропривод	Победитель
Стоимость комплекта	670–860 USD	1 517–1 900 USD	Гидро
Эксплуатация при -20°C	Стабильно	Потеря 30–50 %	Гидро
Автономность	Неограниченно	1,5–2,5 ч	Гидро
Момент под грузом	750–800 Н·м	Снижается	Гидро
Надежность в грязи/снегу	Отличная	Средняя	Гидро
Ремонт в регионах	Высокая	Низкая	Гидро

Гидравлический привод комплектуется двигателем Loncin/Lifan 190F 15 л.с. (90–110 USD), насосом GRH/CBW 6–8 см³ (45–70 USD), четырьмя гидромоторами BM4-80/GRH OMP80 (70–96 USD/шт.), распределителем P40/GRH 3-секционный (55–80 USD) и дополнительными элементами (бак 15 л, шланги, муфта, фильтры – 180–220 USD). Общая стоимость комплекта – 670–860 USD.

Электрический привод включает четыре ступичных мотора QS205 V3 3000W 72V (238–280 USD/шт.), контроллер Fardriver ND72450 (95–150 USD), аккумулятор LiFePO4 72V 80 Ah с BMS IP67 (350–450 USD) и дополнительные элементы (зарядное устройство, дроссель, проводка – 120–180 USD). Общая стоимость – 1 517–1 900 USD. Гидропривод обеспечивает неограниченную автономность, отсутствие механических передач, крутящий момент 750–800 Нм, высокую устойчивость к пыли, грязи и низким температурам, а также высокую ремонтопригодность в региональных условиях.

Электропривод характеризуется высоким КПД (88–93 %), низким уровнем шума (50–65 дБ), отсутствием выхлопных газов, однако при -20°C теряет 30–50 % емкости аккумулятора, а его обслуживание требует специализированной диагностики. При эксплуатации с грузами 300–500 кг гидравлический привод сохраняет стабильные характеристики в 90–98 % случаев, тогда как электрический ограничен временем работы 1,5–2,5 ч зимой и зависимостью от электросети.

Экономический анализ подтверждает преимущество гидравлики как по первоначальной стоимости, так и по годовым эксплуатационным расходам (250–400 USD против 150–250 USD с учетом замены батареи через 3–4 года). Таким образом, в условиях СНГ гидравлический привод является оптимальным решением для мини-дumperов и аналогичной техники.

Литература

1. GRH Hydraulic – официальный каталог 2026 // Alibaba.com. – URL: <https://www.alibaba.com/product-detail/GRH-BM4-80-hydraulic-motor> (дата обращения: 19.03.2026).
2. QS Motor QS205 V3 3000W // AliExpress. – URL: <https://www.aliexpress.com/item/1005006123456789.html> (дата обращения: 19.03.2026).
3. Loncin 190F 15 л.с. двигатель // Alibaba.com. – URL: <https://www.alibaba.com/product-detail/Loncin-190F-engine> (дата обращения: 19.03.2026).

УДК 534.8

ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ЖИДКОСТИ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Студент гр. 11302123 Маковская В. М., магистрант гр. 61315025 Коляда Е. А.

Д-р техн. наук, доцент Степаненко Д. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Исследование проводилось в рамках испытаний ультразвукового концентратора на возможность генерации мощных акустических волн в жидкости бесконтактным способом через воздушную среду [1].

Испытательная установка состоит из генератора частоты, усилителя мощности, ультразвукового преобразователя, концентратора, заполненного жидкостью резервуара с поршнем, смонтированного в поршне гидрофона и осциллографа. Генератор частоты настраивается на резонансную частоту концентратора и при определенном пороговом значении мощности на поверхности жидкости возникают гравитационно-капиллярные волны, а акустическое давление в жидкости подвергается амплитудной модуляции (рисунок 1).

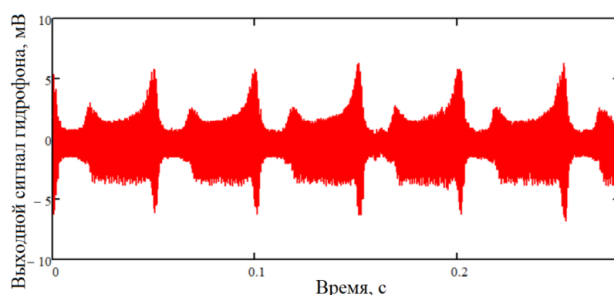


Рис. 1. Пример амплитудной модуляции акустического давления в жидкости

Известны исследования, в которых волны на поверхности жидкости возбуждаются периодически модулированным ультразвуковым сигналом. Рассматриваемая установка не содержит источника модулированного сигнала и поэтому волны на поверхности жидкости имеют автоколебательный характер.

В рассматриваемой системе наблюдается самомодуляция акустического давления, так как низкочастотные изменения амплитуды акустического давления возникают вследствие возбуждения спонтанных автоколебаний жидкости на одной из собственных частот плесканий. Эффект самомодуляции, представляющий собой самопроизвольное появление низкочастотных изменений акустического давления, может иметь различные физические механизмы и ранее наблюдался в твердотельных и заполненных жидкостью нелинейных акустических резонаторах. Самомодуляция акустического давления на частоте плесканий жидкости приводит к появлению дополнительной низкочастотной составляющей силы акустической радиационной силы с частотой, равной удвоенной частоте плесканий, которая вызывает вынужденные колебания жидкости с этой двойной частотой. Вынужденные колебания в свою очередь приводят к периодическому изменению параметров акустического резонатора с двойной частотой и соответствующим изменениям амплитуды акустического давления. Совместная модуляция акустического давления на частоте самомодуляции и удвоенной частоте самомодуляции приводит в результате нелинейности к генерации утроенных и учетверенных дополнительных частот, в результате чего спектр сигнала акустического давления принимает вид так называемой «частотной гребенки», а форма огибающей принимает сложную несинусоидальную форму.

Выявленный эффект самомодуляции акустического давления может играть важную роль в процессе бесконтактного ультразвукового воздействия на жидкие среды, так как эффективность воздействия определяется уровнем акустического давления в жидкости.

Литература

1. Focusing of low-frequency ultrasound by pressure amplification in acoustic cavity and non-contact action of ultrasound on fluid / D. A. Stepanenko [et al.] // Ultrasonics. – 2026. – Vol. 159. – Art. 107863.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Студенты гр. 11305124 Малиновская П. В., Смоляная В. В.

Кандидат техн. наук, доцент Филонова М. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Пневматические средства измерений занимают особое место в контрольно-измерительной технике. Это измерительные средства, в которых преобразование измерительной информации, то есть информации, содержащей сведения об измеряемом размере, осуществляется через изменение параметров сжатого воздуха в воздушной магистрали при его истечении через небольшое отверстие [1].

Впервые пневматические средства измерений были использованы в машиностроении для измерения линейных размеров в 1928 году. С началом автоматизации и механизации производственных процессов в конце 40-х годов, интерес к пневматическим методам измерений постоянно возрастает, т.к. они обладают рядом достоинств [2]. У них простота конструкции, они не сложны в изготовлении и обслуживании, невысокая стоимость. Дистанционность измерения при непрерывном характере сигнала. Возможность бесконтактных измерений с высокой точностью. Малые размеры измерительной оснастки (сопла), которая может быть размещена в труднодоступных местах. Возможность получения суммы или разности измеряемых сигналов, возможность получения средних сигналов. Возможность получения больших передаточных чисел. Возможность автоматизации приборов с переменным перепадом давления при использовании манометра с упругими чувствительными элементами.

В настоящее время стали более очевидными преимущества пневматического принципа измерения. Пневматические средства измерения практически незаменимы при контроле во взрывоопасных средах и там, где требуются крайне малые габариты чувствительных элементов, в условиях, когда измерительное устройство подвержено действию сильных магнитных, электрических, радиоактивных полей. В цехах заводов работало и продолжает работать огромное количество всевозможных отечественных и зарубежных пневматических приборов размерного контроля.

Ведущим мировым производителем сегодня является компания «Solartron metrology». Итальянская фирма «Марпосс» в настоящее время занимается разработкой пневмоэлектронных приборов [3, 4].

Номенклатура пневматических средств для автоматизации линейных измерений достаточно велика. Однако наиболее перспективными являются пневматические преобразователи манометрического типа, о чем свидетельствует опыт проектирования средств автоматического контроля ведущих в этой области организаций. Достоинства пневматических средств позволяет прогнозировать их преимущественное применение при измерениях отклонений от правильной геометрической формы и расположения поверхностей, которые сводятся к сумме (разности) нескольких параметров. Создание высокоточных миниатюрных вторичных преобразователей и совершенствование первичных преобразователей позволяют сегодня создавать высокопроизводительные пневматические средства измерений. Таким образом, можно считать, что пневматические средства для автоматизации контроля и управления технологическими процессами не только сохраняются в ближайшем будущем, но и будут совершенствоваться, охватывая новые области применения.

Литература

1. Пневматические измерительные приборы // Studref.com. – URL: https://studref.com/650462/tehnika/pnevmaticheskie_izmeritelnye_pribory (дата обращения: 11.03.2026).
2. Маханько, А. М. Контроль станочных и слесарных работ / А. М. Маханько. – М.: Высшая школа, 2000. – 286 с.
3. Marposs: [сайт]. – URL: <http://www.marposs.com/> (дата обращения: 11.03.2026).
4. Solartron Metrology: [сайт]. – URL: <http://www.solartronmetrology.com/> (дата обращения: 11.03.2026).

УДК 621.396.6

АНАЛИЗАТОР КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Студент гр. 11303124 Павловская М. А.

Кандидат техн. наук, доцент Савелов И. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Нефтеперерабатывающая отрасль вынуждена учитывать жесткие рыночные условия и постоянно ужесточающиеся экологические и технические регламенты. В таких условиях экспресс-контроль качества становится необходимым. Традиционные методы анализа (ГОСТ/ASTM) точны, но слишком медленны: разрыв во времени между отбором пробы и получением результата делает невозможным оперативное управление технологическими процессами компаундирования или переработки. Это определяет высокую актуальность разработки и внедрения анализаторов качества нефтепродуктов, способных обеспечить мониторинг в режиме реального времени или близком к нему.

Целью данной работы является обоснование требований и определение направлений разработки прибора для экспресс-контроля качества нефтепродуктов.

На рис. 1 представлены распространенные, в настоящее время, анализаторы качества нефтепродуктов. Приборы PCM/HSS, PIONIR, Diamond, работающие в инфракрасном диапазоне, обеспечивают экспресс-анализ множества параметров, но их точность сильно зависит от качества калибровки и состава пробы. Хроматографические анализаторы PerkinElmer Clarus, обеспечивают детальный компонентный состав. Они обладают высокой точностью, но сложны и дороги. Автоматические анализаторы фракционного состава АФСА обеспечивают точное соответствие конкретному методу испытаний. Промышленные поточные анализаторы ППА пригодны для встраивания в техпроцесс крекинга, но их монтаж затруднен из-за больших габаритов, массы (до 270 кг) и энергопотреблением (до 1 500 Вт).



Рис. 1. Анализаторы качества нефтепродуктов: PCM/HSS, PIONIR, Diamond (а); PerkinElmer Clarus (б); АФСА (в); ППА (г)

Для реализации проекта необходимо решить ряд ключевых задач: 1) разработать конструктивные решения, обеспечивающие эксплуатацию в заданных условиях и обеспечения взрывобезопасности; 2) разработать модульную архитектуру, при которой один и тот же аналитический блок сможет работать как в лабораторном исполнении, так и в проточном (с оптоволоконными сенсорами), будучи размещенным в облегченном взрывозащищенном кожухе с принудительным охлаждением; 3) разработать сопровождающее программное обеспечение, которое должно автоматизировать обработку данных, проводить самодиагностику и обеспечивать интеграцию с АСУ ТП.

Литература

1. PCM/HSS, PIONIR, Diamond: описание типа средства измерений / фирма «Applied Instrument Technologies Inc.», США. – М.: ВНИИМС, 2015. – 6 с.
2. PerkinElmer Inc. Анализаторы нефтепродуктов и химического состава // MedicalExpo: онлайн-каталог. – URL: <https://www.medicaexpo.ru/prod/perkinelmer/product-69673-448558.html> (дата обращения: 06.02.2026).
3. Анализатор АФСА (анализатор фракционного состава автомобильных бензинов) // ЗАО «БМЦ». – URL: <https://bmc.by/catalog/neftehimicheskoe-oborudovanie/analizator-afsa.html> (дата обращения: 06.03.2026).
4. Поточные анализаторы // Metrohm AG. – URL: https://www.metrohm.com/ru_ru/products/process-analyzers.html (дата обращения: 06.03.2026).

УДК 004.925.84

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Студент гр. 11307124 Полицын В. С.

Кандидат техн. наук, доцент Филонова М. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аддитивные технологии или 3D печать появилась в 80-х годах 20-го века. С тех пор она бурно развивалась и на сегодняшний день применяется во многих областях науки, промышленности, искусства. Эта технология может использоваться для создания изделий как из полимеров, так и из металлов и их сплавов. Благодаря своим особенностям она лучше всего подходит для изготовления деталей сложной формы, прототипов, моделей, кастомизированных вещей в единичном и мелкосерийном производстве. Одним из новых направлений является использование 3D печати для создания персонализированных костных имплантатов. Имплантаты, изготовленные методами литья, фрезерования, штамповки и др. не всегда подходят всем пациентам. Это может быть вызвано анатомическими особенностями, заболеваниями, травмами. 3D печать позволяет изготовить имплантат, точно повторяющий поврежденный участок кости специально для конкретного пациента. Первые эксперименты в этом направлении начались в 2010-х годах. На сегодняшний день технология активно используется. Главными ее преимуществами являются: возможность создания имплантата, точно повторяющего форму кости и имеющего трабекулярную (губчатую) структуру, сокращение времени и повышение точности операции, отсутствие необходимости подгонять имплантат. Недостатки – обычные для новых технологий: высокая стоимость, сложность сертификации и стандартизации, отсутствие практических данных о долговечности.



Рис. 1. Структура имплантата и структура кости

Существует несколько технологий печати металлов: селективное лазерное сплавление (SLM), селективное электронно-лучевое сплавление (EBM), прямой подвод энергии (DED). Для большинства изделий используются технологии SLM и EBM. В них используется металлический порошок, который послойно спекается в слой детали с помощью мощного лазера или электронного пучка (луча). Основной материал – порошки из нержавеющей стали марки 316, кобальтохромовых (Co – Cr) и титановых сплавов. 3D Печать имплантатов методами DED практически не применяется из-за низкой точности размеров и большой шероховатости поверхности [1].

Основные направления – стоматология (коронки, мосты, скобки, выравниватели), имплантаты суставов (тазобедренный, локтевой, коленный суставы), спинальная (позвонки и межпозвоночные диски, клетки кейджи) и черепные имплантаты.

На сегодняшний день в Беларуси производством костных имплантатов занимаются ЗАО «Алтимед», ООО «Хьюман Крафт», НП ООО «Медбиотех», Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Физико-технический институт НАН Беларуси.

Литература

1. Аддитивные технологии в медицине / В. В. Попов, Г. В. Муллер-Камский, С. И. Степанов [и др.]. – Екатеринбург: УрФУ, 2023. – 92 с.
2. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges / T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano [et al.] // Composites Part B: Engineering. – 2018. – Vol. 143. – P. 172–196.

УДК 549.091 (075.8)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОСТИ И СТРУКТУРЫ ПРИРОДНОГО КАМНЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ

Магистрант гр. 51315024 Попов Р. А.

Кандидат техн. наук, доцент Луговой В. П.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Шарики из природного камня и камнесамоцветного сырья широко используются в ювелирном и бижутерном производстве в качестве вставок, бусин. Использование различных по свойствам материалов, имеющих различную структуру, приводит к ряду сложностей при изготовлении шариков. Такие особенности материалов как твердость, хрупкость, неоднородность, трещиноватость и разнонаправленность кристаллической решетки существенно влияют на производительность обработки при разных операциях.

Рассмотрим способности материалов к обработке на примере змеевика, гранита и яшмы, которые имеют разную твердость и структуру.

Змеевик – твердость 4 по шкале Мооса, структура неоднородная, волокнистая.

Гранит – твердость 6 по шкале Мооса, структура неоднородная, зернистая.

Яшма – твердость 7 по шкале Мооса, структура однородная, раковистый излом.

Основной задачей является *изучить влияние твердости и структуры природного камня на производительность шлифования* на разных операциях. Обработка производится на гранескругляльном станке методом галтовки и на станке для планетарного шлифования шариков.

Инструментом при гранескруглении служит корундовый шлифовальный круг, обработка заготовок происходит в отверстиях сепаратора, между кругом и прорезиненной крышкой.

Заготовками для гранескругления служат кубики одинаковой точности из змеевика, гранита и яшмы. Обработка производится до достижения отклонения сферичности 0,5 мм.

Инструментами при планетарном шлифовании является диск-сепаратор и прорезиненный стол, совершающий планетарное движение, обработка происходит в среде абразивной суспензии.

Заготовками для планетарного шлифования служат сфероиды, полученные гранескруглением.

Результаты исследований показаны на рис. 1 *а, б*. На рис. 1, *а* показан сравнительный график изменения среднего значения диаметра заготовки из разных поделочных камней при гранескруглении. Из графика видно, что съем материала с заготовок из змеевика и гранита происходит интенсивнее, чем с заготовок из яшмы. Это значит, что материалы со схожей неоднородной структурой имеют более высокую способность к обработке галтовкой из-за возможного выкрашивания более хрупких минералов, входящих в состав породы.

На рис. 1, *б* показан сравнительный график изменения диаметра шарика из разных поделочных камней при планетарном шлифовании. Из графика видно, что обработка гранита и яшмы происходит со схожей скоростью, а обработка змеевика проходит более интенсивно. Это объясняется тем, что гранит и яшма близки по твердости, в отличие от достаточно мягкого змеевика.

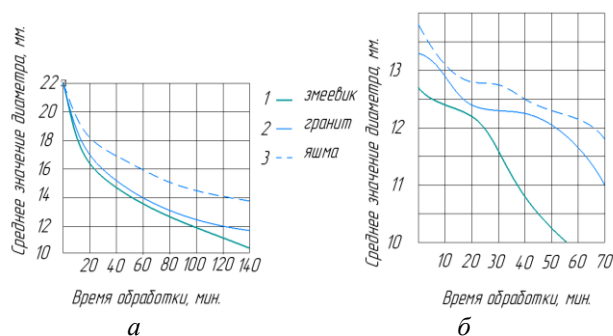


Рис. 1. Графики изменения размера заготовки в зависимости от времени обработки: график изменения максимального размера заготовки при гранескруглении кубика в сфероид (*а*); график изменения диаметра шариков при планетарном шлифовании (*б*)

Исходя из результатов исследования, можно сделать вывод о существенном влиянии твердости и структуры материала на производительность шлифования на разных операциях.

УДК 551.574.42; 534.29

РАЗРУШЕНИЕ СОСУЛЕК С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Студент гр. 11302122 Пугач П. А.

Кандидат техн. наук, доцент Савченко А. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Разрушение наледи и сосулек на кромках крыш зданий и сооружений является актуальной и в полной мере не решенной до сих пор задачей. Свисающие с карнизов сосульки разных форм и размеров – это то явление, которое мы вынуждены наблюдать каждую зиму. Более того, сосульки являются распространенным источником травматизма.

В настоящее время для борьбы с наледью и сосульками используют три подхода: предотвращение возможности образования сосулек; предотвращение роста образовавшейся наледи; разрушение образовавшихся сосулек.

Первый подход является попыткой радикального решения проблемы, к сожалению, не всегда в должной мере реализуемой. Он включает три основных направления [1]: улучшение отвода воды с крыш зданий; уменьшение интенсивности таяния снега на основной плоскости крыш зданий, водостоков и др.; уменьшение массы снега, который может накапливаться на крышах. Техническая реализация этих направлений достаточно разнообразна и включает как конструктивные изменения в конструкции крыш и чердаков [2], так и устанавливаемые на крыши дополнительные технические средства. Многие из методов сводятся к электрообогреву различных участков кровли и карнизов, а также к механическому удалению снега с кровли. Для предотвращения роста наледи, фактически, используются те же методы: электрообогрев, механическое удаление наледи. В некоторых случаях пытаются использовать методы, внедренные в авиации для удаления наледи с кромки крыла, например ЭИПОС, разработанную И. А. Левиным еще в 60-х годах 20 века. Однако, методы пригодные для гладкой кромки крыла оказываются не очень эффективными для крыш. Некоторые авторы рассматривают и считают перспективным ультразвуковые методы разрушения наледи и сосулек: [3], патент РФ на полезную модель №188601 и др. Авторы предлагают устанавливать в непосредственной близости к кромке крыши различные элементы, к которым подводятся ультразвуковые колебания: дополнительные карнизы, натянутую проволоку, стержневые элементы и другие. Установлено, что при входе в резонанс на частоте 22 кГц будет получен эффект разрушения льда.

Авторами был проведен поиск в открытых источниках сведений о конструкциях ультразвуковых устройств, их реальном внедрении, достоинствах и недостатках, а также проведен ряд экспериментов с попытками разрушения наледи и сосулек описанными методами. В результате мы пришли к следующим выводам. Все описанные устройства и методики являются концепциями, не имеющими реального внедрения из-за крайне низкой эффективности и большого энергопотребления. При попытке подвода ультразвуковых колебаний к элементам конструкции мы сталкиваемся с большим затуханием колебаний на протяжении таких импровизированных волноводов, поверхность которых практически невозможно сохранять достаточно гладкой. Поэтому требуется укорачивать участки волноводов за счет увеличения количества излучателей и увеличивать мощность генератора до совершенно неприемлемых значений. Резонансная частота колебаний в очень большой степени зависит от места образования наледи, ее формы и размеров, нарушения натяжения элементов из-за температурных и других деформаций и т. д. В результате требуется генератор с качанием частоты колебаний в широких пределах, причем найденные резонансы получаются далекими от 22 кГц, на которые рассчитаны излучатели для наиболее эффективного разрушения. При использовании колеблющихся элементов в виде струн и стержней из-за ветра никак не удастся заставить сосульки образовываться прямо на них, а не на карнизе здания.

В результате мы пришли к неутешительным выводам: колеблющийся элемент должен быть достаточно крупным, например, в виде дополнительного карниза, но при этом его сложно ввести в режим колебаний с достаточной амплитудой. А наиболее эффективным методом, к сожалению, остается чисто механическое воздействие.

Литература

1. Горбунова, Л. Н. Анализ методов и средств борьбы с наледью и сосульками / Л. Н. Горбунова, З. Н. Панова // Вестник КрасГАУ. – 2001. – № 8. – С. 206–209.

2. Немова, Д. В. Реновация чердачных перекрытий как инженерно-техническое мероприятие по предотвращению образования наледей на крышах / Д. В. Немова // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 3. – С. 87–90.

3. Бизнес-идея: борьба с сосульками // Equipnet.ru. – URL: https://www.equipnet.ru/org-biz/uslugi/uslugi_55.html (дата обращения: 28.02.2026).

УДК 671.1.02

ДИЗАЙН ЭФЕСА В РЕНЕССАНСНОЙ ШПАГЕ

Студент гр. 11309123 Рыжиков В. А.

Кандидат техн. наук, доцент Луговой В. П.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Шпага Ренессанса занимает особое место в материальной культуре: возникнув как облегченный вариант боевого меча, к концу XVI века она превратилась в сложный социальный и эстетический феномен. Именно эфес, в отличие от клинка, нес основную декоративную функцию и служил пространством для творчества оружейников, ювелиров и художников. Задачей исследования является изучение дизайна эфеса ренессансной шпаги.

Шпага появилась в середине XV века в Испании как легкое оружие для колющих ударов. Благодаря сложной гарде, защищавшей пальцы, ее стали постоянно носить с гражданским костюмом, превратив в обязательный аксессуар дворянина. В эпоху Возрождения знать проводила время при дворе, поэтому шпага из оружия превратилась в визитную карточку владельца. По тому, как украшена шпага, окружающие понимали статус человека. Так сформировалось требование не просто в оружию, а в предмете роскоши, поэтому эфес шпаги стали богато декорировать.

Одним из главных дизайнерских решений в искусстве эфеса становилось превращение функциональных элементов в эстетически значимые детали. Крестовина утрачивала строгую прямоту и изгибалась в соответствии с пластикой барочных или рокайльных форм, приобретая текучесть и динамику. Дужки гарды образовывали сложные симметричные или ажурные переплетения, а защитная чаша нередко выполнялась прорезной, с растительным или геральдическим орнаментом, что при сохранении защитных свойств придавало эфесу визуальную легкость и графическую выразительность, как показано на рис. 1, а.

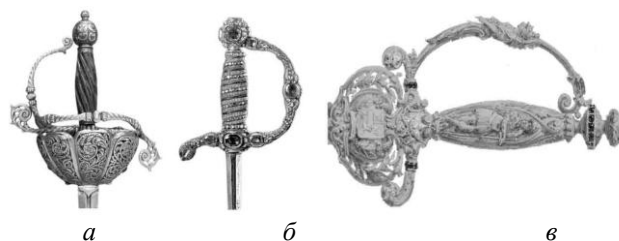


Рис. 1. Изображение эфеса шпаг XVII (а), XVIII (б) и XIX (в) века

Дополнительным средством репрезентации выступала контрастная отделка: вороненый темный фон чаши, полученный методом оксидирования, подчеркивал яркость золотой насечки или серебряных накладок с гербами и вензелями владельца. Рукоять эфеса, обычно деревянную, покрывали оплеткой из крученой серебряной, латунной или стальной проволоки – это не только обеспечивало надежный хват, но и формировало декоративный ритмичный рисунок. На рис. 1, б показан переплет рукоятки с инкрустированными камнями. Вершиной декоративного искусства становилась инкрустация драгоценными камнями, превращавшая эфес в подлинное ювелирное изделие. Крупные камни – алмадины, аметисты или топазы – закрепляли на навершии рукояти или в центре чашечной гарды, образуя композицию всей конструкции.

Мелкие камни выкладывались в виде обниси – сияющей каймы по краю чаши или сложного обрамления вокруг гравированных вензелей, что заметно на рис. 1, в, где ряд мелких изумрудов обхватывает навершие эфеса. Изысканностью отличалась техника крепления камней в кастах, максимально открывающих свету игру граней. Это позволяло комбинировать камни с чернением, заполнявшим гравированные углубления, или эмалью, добавляя эфесу цветовой глубины, живописности и дополнительной декоративной насыщенности.

Таким образом, эфес ренессансной шпаги эволюционировал в настоящее ювелирное изделие, став ключевым элементом репрезентации социального статуса и эстетических предпочтений дворянства.

УДК 677.076.4

УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СПАНДБОНДА

Студент гр. 11302122 Савина Д. Л.

Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время использование материалов, обеспечивающих необходимые условия воздействия температуры и влажности при выращивании сельскохозяйственных культур, является необходимым условием получения хорошего урожая. Прочность является одной из ключевых характеристик нетканых материалов, определяющей их эксплуатационную надежность и долговечность. Материалы с недостаточной прочностью быстро разрушаются под нагрузкой, тогда как избыточная жесткость может приводить к потере эластичности и разрушению структуры при циклических деформациях. Для объективной оценки качества нетканых полотен и контроля производства необходимы стандартизированные методы определения их механических свойств.

Оценка механических свойств нетканых материалов включает в себя несколько видов испытаний, позволяющих комплексно охарактеризовать поведение материала под нагрузкой [1]:

- определение разрывной нагрузки и относительного удлинения при растяжении;
- оценка прочности при продавливании;
- испытания на сопротивление раздиранию и расслаиванию.

На рис. 1 показана кинематическая схема устройства для определения прочности спандбонда на продавливание, в котором реализована методика продавливания шариком.

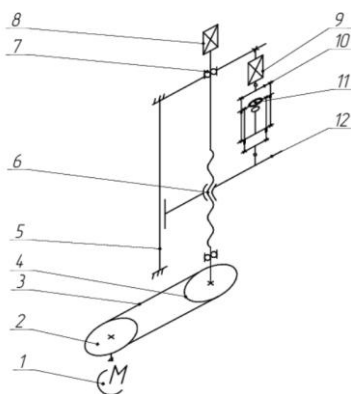


Рис. 1. Схема кинематическая устройства определения прочности спандбонда

Устройство состоит из электродвигателя 1, на штоке которого закреплен шкив 2, соединенный ремнем 3 со шкивом 4, при вращении которого обеспечивается перемещение кронштейна 12 по винтовой паре 6 и направляющей 5. Приспособление 10 закрепляется между неподвижной частью устройства и кронштейном 12. Образец 11 устанавливается в приспособление 10 и закрепляется. Усилие воздействия на образец фиксируется тензометрическим датчиком 9. Испытания осуществляются до продавливания образца шариком с измерением усилия, при котором происходит разрушение материала.

Литература

1. ГОСТ Р 53226-2008. Полотна нетканые. Методы определения прочности. – М.: Стандартинформ, 2009. – 23 с.

УДК 681

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Студент гр. 11302122 Свирид А. Н.

Кандидат техн. наук, доцент Есьман Г. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Введение. Контроль качества изделий весьма важен в современном приборостроении, в особенности при производстве изделий по принципу полной взаимозаменяемости. Применение универсальных измерительных инструментов и калибров малопроизводительно, не всегда обеспечивает нужную точность и удобство контроля.

Цель работы. Проектирование прибора, позволяющего осуществить контроль биения цилиндрической поверхности детали с повышением точности и производительности. **Методы исследования.** Измерение биения осуществляется методом непосредственной оценки. Измерение контактное, с преобразованием измеряемой физической величины в изменение отклонения преобразователей с дальнейшей обработкой результатов. Применяются индикаторы MarTest 800 EW и R100 с ценой деления 0,001 мм.

Принцип действия: Контролируемая деталь устанавливается на опору 10 и зажимается в цанге 9. Фиксация осуществляется пневматическим приводом 11: при подаче давления его шток перемещается вниз и через упор 8 разжимает цангу, надежно закрепляя деталь. Вращательное движение детали обеспечивается электродвигателем 14, который через ременную передачу 13 передает крутящий момент на вал, установленный на подшипниках 12. Перед началом измерений каретки с датчиками подводятся к детали: перемещением по направляющим 2, 7 и фиксацией фиксаторами 1 каретки позиционируются в рабочей зоне. Точный подвод измерительных наконечников к поверхности детали осуществляется вращением винтовой передачи 3. При этом преобразователь радиального биения 5 и преобразователь торцового биения 4, установленные на общем кронштейне 6, входят в контакт с контролируемой поверхностью с необходимым предварительным натягом. После включения электродвигателя 14 деталь начинает вращаться. Преобразователи 4, 5 фиксируют отклонения поверхности (биение) в реальном времени, преобразуя механические перемещения в электрический сигнал для последующей обработки. По завершении цикла измерений каретки отводятся от детали перемещением по направляющим 2, 7 и стопорятся фиксаторами 1. Пневмопривод 11 поднимает шток, освобождая цангу 9, после чего деталь извлекается из приспособления.

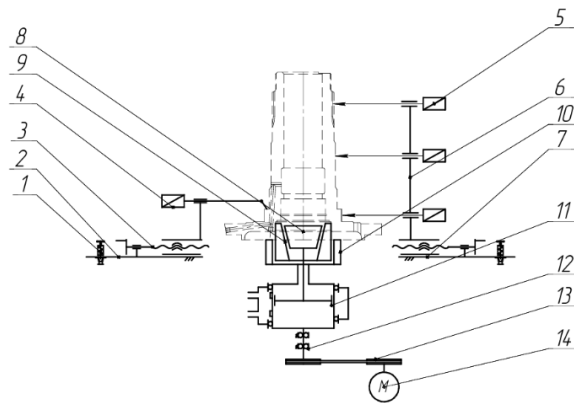


Рис. 1. Кинематическая схема приспособления для контроля биения

Результаты работы. Разработано приспособление для контроля радиального биения наружной цилиндрической поверхности со следующими техническими характеристиками: погрешность измерения – 8 мкм, измеряемый допуск биения – 25...60 мкм, скорость вращения детали – не более 7 об/мин.

Выводы. Применение разработанного приспособления повышает производительность труда контролеров, улучшает условия их работы, повышает качество и объективность контроля.

Литература

1. Технологическое оборудование и оснастка в приборостроении. В 2 ч. Ч. 1 / сост.: М. Г. Киселев, Г. А. Есьман, В. Л. Габец. – Мн.: БНТУ, 2015. – 90 с.

УДК 616.7-073.97:615.471

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫХ МЫШЦ

Солдатов В. И., Вятчина Т. Г., Коровина С. А., Михайлова А. С., Труфанов А. М.
Пушкарев М. С.

Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

По данным отечественной литературы, нарушения осанки различной степени выраженности регистрируются у 15–30 % детей школьного возраста и являются одной из причин формирования висцеральной патологии – вследствие деформации грудной клетки и изменения топографии внутренних органов [1]. С медицинской точки зрения принципиально важно, что коррекционный эффект физических упражнений существенно возрастает при раннем выявлении функциональных отклонений, до стадии структурной деформации позвоночника [1]. Традиционные методы скрининга – редкие профилактические осмотры и визуальная оценка осанки – не обеспечивают непрерывного объективного мониторинга и позволяют фиксировать лишь уже сформировавшиеся нарушения. Существующие зарубежные корректоры осанки (Intelligent Smart Coach, Xiaomi Youpin Hipsee P1) регистрируют угол наклона туловища, однако не обеспечивают дифференциации направления отклонения и не используют прямой оценки мышечного тонуса. Поверхностная электромиография (ЭМГ) позволяет объективно количественно оценить биоэлектрическую активность паравертебральных мышц, которая изменяется до появления клинически видимых деформаций позвоночника [2]. Асимметрия ЭМГ-активности симметричных паравертебральных мышц служит ранним маркером дисбаланса мышечного тонуса и создает доказательную основу для назначения персонализированной лечебной физкультуры [1, 2]. В условиях курса на технологический суверенитет и импортозамещение в медицинском приборостроении разработка отечественных диагностических систем на открытой программно-аппаратной базе обеспечивает независимость от зарубежных поставщиков и возможность адаптации к стандартам российского здравоохранения.

Цель работы – разработать программно-аппаратный комплекс (ПАК) на базе отечественного микроконтроллерного модуля Iskra Neo для непрерывного многоканального мониторинга биоэлектрической активности паравертебральных мышц с целью ранней объективной диагностики нарушений осанки.

Материалы и методы. Аппаратная часть ПАК реализована на базе российского микроконтроллерного модуля Iskra Neo (компания «Амперка», Россия) – отечественного аналога Arduino Leonardo на микроконтроллере ATmega32U4 (тактовая частота 16 МГц, 32 КБ флеш-памяти, 12 аналоговых входов, 10-битный АЦП). Поверхностные накожные электроды – проводники специальной формы, обеспечивающие съем биопотенциалов с поверхности кожи без инвазивного вмешательства [3] – подключены к аналоговым входам A0, A1, A2, A4 и расположены симметрично на паравертебральных мышцах в грудном и поясничном отделах позвоночника. Перед наложением кожа обрабатывалась спиртом, на электроды наносился токопроводящий гель для снижения переходного сопротивления. Частота дискретизации составляла 100 Гц – достаточная для оценки постурального мышечного тонуса, информативный спектр которого сосредоточен в диапазоне 20–60 Гц. Для подавления высокочастотных помех применялось экспоненциальное скользящее среднее (коэффициент сглаживания 10). Результаты регистрации сохранялись на SD-карту в формате CSV с временными метками, сырыми и сглаженными значениями и событиями калибровки, что обеспечивает возможность последующего ретроспективного анализа.

Программная часть реализована в среде Arduino IDE (язык C++) и Processing (язык Java). Графический интерфейс отображает состояние каждого канала в реальном времени: «мышца активна» – зеленый индикатор, «мышца в покое» – серый; порог активации – 50 единиц АЦП (диапазон 0–1023) по размаху амплитуды за 1 с. Перед мониторингом проводилась индивидуальная программная калибровка: испытуемый в течение 10 с поддерживал ортостатическое положение с выпрямленной спиной, после чего зарегистрированный базовый уровень тонуса вычитался из текущих значений. Пилотная апробация выполнена на одном добровольце 20–23 лет без патологии опорно-двигательного аппарата (ОДА); ввиду направленности работы на функциональную отладку комплекса статистическая обработка данных не проводилась.

Таблица 1 – Сравнение разработанного ПАК с коммерческими аналогами

Аналог	Достоинства	Недостатки
Intelligent Smart Coach / Smart Sensor Corrector	Компактность, малая масса, доступная цена	Оценка только угла наклона; нет дифференциации направления отклонения; ЭМГ-контроль отсутствует
Xiaomi Youpin Hipsee P1 Smart	Суточная статистика положения тела	Контролирует только верхний грудной отдел; нет прямой оценки мышечного тонуса; зарубежный производитель
Разработанный ПАК (Iskra Neo, Россия)	4-канальная ЭМГ паравerteбральных мышц, индивидуальная калибровка, визуализация в реальном времени, отечественная открытая платформа	Опытный образец; требует миниатюризации

В ходе пилотной апробации успешно реализована синхронная четырехканальная регистрация ЭМГ-сигнала с паравerteбральных мышц; данные визуализировались в реальном времени и записывались в CSV-файл. Корректность работы графического интерфейса подтверждена визуально. Сформирован первичный набор данных для последующего корреляционного анализа взаимосвязи поструральных изменений и асимметрии ЭМГ-активности. Согласно литературным данным, асимметрия биопотенциалов паравerteбральных мышц до 150 мкВ расценивается как функциональная норма; превышение порога 225–300 мкВ коррелирует с формированием сколиотической деформации [2]. Наличие численных критериев нормы и патологии делает разработанный ПАК инструментом не только инженерного, но и клинически значимого скрининга: полученные данные могут быть непосредственно использованы врачом ЛФК или педиатром для обоснования и мониторинга эффективности коррекционных мероприятий (табл. 1).

Разработан и апробирован отечественный ПАК для непрерывного многоканального мониторинга биоэлектрической активности паравerteбральных мышц на базе российского модуля Iskra Neo. В отличие от зарубежных коммерческих корректоров осанки, комплекс обеспечивает прямую количественную ЭМГ-оценку мышечного тонуса в четырех точках одновременно, что имеет самостоятельную диагностическую ценность для раннего выявления дисбаланса паравerteбральной мускулатуры как предиктора прогрессирования сколиоза. Применение отечественной открытой платформы соответствует задачам импортозамещения в медицинском приборостроении и создает основу для тиражирования системы в учреждениях здравоохранения и общеобразовательных школах. Перспективами развития являются миниатюризация аппаратной части, совершенствование алгоритмов цифровой фильтрации, разработка носимого корпуса и расширение клинической выборки для валидации диагностических пороговых значений.

Литература

1. Спирин, В. К. Диагностика функциональных нарушений осанки на основе показателей силовой выносливости мышц по обе стороны позвоночного столба / В. К. Спирин, Д. Н. Болдышев // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. – 2012. – № 4 (86). – С. 149–153.
2. Яблонских, М. А. Некоторые электромиографические показатели у детей дошкольного возраста / М. А. Яблонских. – Казань: Каб. ЛФК Казанского ГИДУВа им. В. И. Ленина. – С. 53–54.
3. Смирнов, В. А. Биофизические основы электромиографии. Регистрация и анализ электромиограммы: методические указания / В. А. Смирнов. – Благовещенск: ФГБОУ ВО АГМА Минздрава России. – 20 с.

УДК 629.7.062

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕРОНАМИ

Студент гр. 120421 Субботин И. С.

Кандидат техн. наук Каликанов А. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Современные тенденции в авиастроении характеризуются активным внедрением концепции «More Electric Aircraft» (MEA), предполагающей замену традиционных гидравлических и пневматических систем электрическими приводами. Особое значение имеет разработка электроприводов для систем управления летательными аппаратами, в частности для управления элеронами.

Элерон является критически важной поверхностью управления, обеспечивающей путевую устойчивость и управляемость летательного аппарата. Переход от гидравлических к электрическим приводам руля управления элероном позволяет существенно повысить надежность, точность и энергоэффективность системы управления, снизить массу и эксплуатационные расходы.

Электрическим приводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

Для выполнения этих функций электропривод вырабатывает механическую энергию (МЭ) за счет электрической энергии (ЭЭ), получаемой от источника электрической энергии (сети электроснабжения). Вырабатываемая электроприводом механическая энергия передается исполнительным органам рабочих машин и механизмов и при необходимости регулируется в соответствии с технологическими требованиями к режимам работы исполнительного органа [1].

За счет полученной энергии исполнительный орган совершает требуемое механическое движение, обеспечивая выполнение технологических операций. Функциональная схема электропривода представлена на рисунке 1.

Электропривод имеет два канала – силовой и информационный. По первому каналу транспортируется преобразуемая энергия, по второму каналу осуществляется управление потоком энергии, а также сбор и обработка сведений о состоянии и функционировании системы, диагностика ее неисправностей [1].

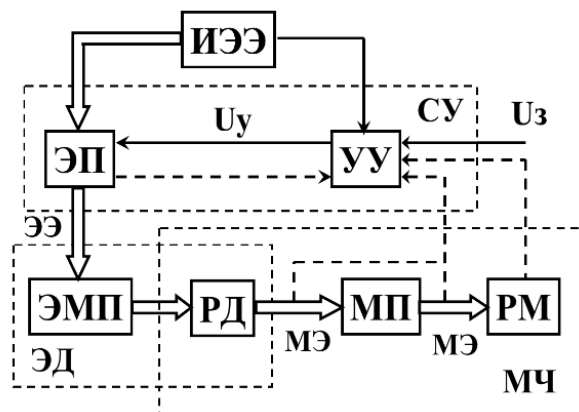


Рис. 1. Функциональная схема электропривода:

ИЭЭ – источник электрической энергии; ЭП – электрический преобразователь; УУ – устройство управления; СУ – система управления; ЭМП – Электромеханический преобразователь; РД – ротор двигателя; ЭД – электрический двигатель; МП – механический преобразователь; РМ – рабочая машина; МЧ – механическая часть; ЭЭ – электрическая энергия; МЭ – механическая энергия

В данной работе показана основная методика проектирования и расчета электрического привода управления элеронами. В ходе выполнения работы был произведен патентно-библиографический поиск, сформирован облик привода и приведено математическое описание.

Литература

1. Бекишев, Р. Ф. Общий курс электропривода: учебное пособие / Р. Ф. Бекишев, Ю. Н. Дементьев; Томский политехнический университет. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 302 с.

УДК 616-77; 681.2

ЖЕСТКОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ НИТИНОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Студент гр. 11307124 Суходольская А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Савченко А. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью исследования является совершенствование имеющихся и разработка новых методик оценки параметров элементов эндопротезов сосудов из нитиноловой проволоки.

Одна из задач, ешаемая для достижения этой цели: исследование процесса оценки жесткости элементов при различных температурах.

В ходе изготовления нитиноловых элементов эндопротезов сосудов возникает необходимость получения максимальной жесткости элементов при температуре человеческого тела (36,6 °C).

Так как материал с эффектом памяти формы, в том числе нитинол, имеет различные механические характеристики при различных температурах, требуется обеспечить контроль жесткости при заданной рабочей температуре, что требует использования специального оборудования со стабилизацией температурного режима. В ходе исследования определяется температурный диапазон стабилизации, обеспечивающий требуемую точность контроля.

Исследованию подвергались образцы стент-элементов диаметром 30...45 мм из нитинола, которые являются составной частью стент-графтов, изготавливаемых серийно в Научно-технологическом парке БНТУ «Политехник».

Для оценки жесткости образцов использовались специально разработанные и опробованные устройства. Для точного задания температуры в широком диапазоне использовалась климатическая камера СМ-60/100-64 ТХ.

В результате исследования радиальной жесткости стент-элементов и других образцов был получен ряд зависимостей, позволяющих сделать некоторые выводы. Было установлено следующее.

Температуры фазовых переходов в разных образцах, несмотря на сходные условия термической обработки, имеют довольно большой разброс – от 16 °C до 27 °C. Вероятно, это вызвано плохой повторяемостью условий термообработки. Тем не менее, фазовые переходы наблюдаются в нужном для эксплуатации диапазоне между температурой установки в систему доставки 15 °C и температурой эксплуатации в кровеносном сосуде 37 °C.

Измерения жесткости при температурах выше температуры фазового перехода дают идентичные результаты, что согласуется с данными, приведенными в литературных источниках. Это объясняется стабильностью механических характеристик нитинола в аустенитной фазе.

На полученных зависимостях можно четко выделить два линейных участка или аппроксимировать участки графиков прямыми. При этом один линейный участок расположен под наклоном, другой представляет собой плато, на котором жесткость не зависит от температуры измерения. Продлевая эти участки (рис. 1), мы получаем точку, которая практически точно соответствует температуре фазового перехода.

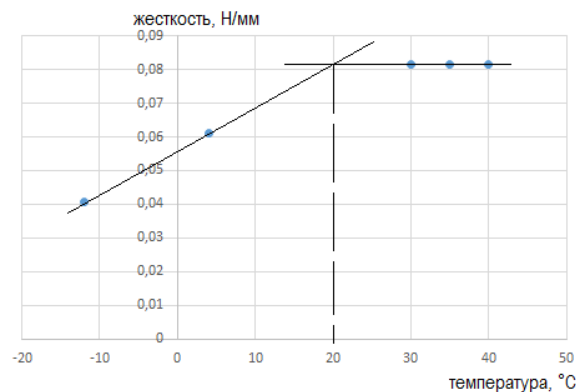


Рис. 1. Определение температуры фазового перехода

Это подтверждается результатами исследований на дифференциальном сканирующем калориметре.

Можно сделать вывод, что для измерений механических характеристик изделий из нитинола можно специально не стабилизировать температурные условия, если обеспечить разброс температур фазовых переходов, укладывающийся в диапазон ниже диапазона колебаний температуры в помещении для измерений. Для этого, вероятно, потребуются стабилизировать условия термической обработки.

УДК 621.798.08

СТЕНД ИСПЫТАНИЯ ЯЩИКОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ШТАБЕЛИРОВАНИИ

Студент гр. 11302122 Титович Д. А.

Кандидат техн. наук, доцент Бурак В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Прочность тары при штабелировании – один из ключевых показателей ее надежности при хранении и транспортировке. Недостаточная прочность ящиков может привести к деформации или разрушению нижних рядов в штабеле под воздействием вертикальной нагрузки, что влечет за собой порчу продукции. Для обеспечения сохранности грузов и повышения качества изготовления деревянной тары необходимо проводить контрольные испытания, моделирующие условия складирования.

Основным методом оценки способности тары выдерживать штабелирование является создание сжимающей нагрузки на образец с последующим контролем деформаций. Данный метод регламентируется стандартами [1, 2] и позволяет определить соответствие ящиков техническим условиям.

На рис. 1 показана кинематическая схема разработанного стенда для испытания ящиков на прочность при штабелировании, реализующая стандартную методику испытания.

Сущность метода испытания заключается в следующем. Испытуемый ящик 7 (объект испытания – щитовые неразборные ящики по [1]) устанавливают на неподвижную плиту 2. Подвижная плита 3 при помощи гидравлического привода 5 опускается и создает нагрузку на образец. Для обеспечения строго вертикального перемещения нагружающей плиты и предотвращения перекосов, в конструкции стенда предусмотрены направляющие 4. Скорость нагружения и величину усилия контролируют по манометру и показаниям датчика силы. Вертикальная деформация ящика измеряется датчиком линейных перемещений 6 с погрешностью не более ± 1 мм.

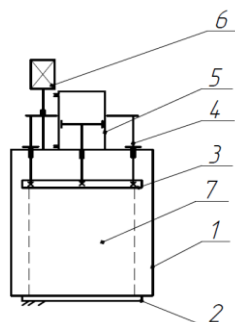


Рис. 1. Схема кинематическая стенда испытания ящиков на прочность

Стенд позволяет создавать испытательную нагрузку до 3 000 Н, что достаточно для испытания ящиков типа VI с предельной массой груза до 500 кг. Нагруженный образец выдерживают под нагрузкой в течение времени, установленного в нормативной документации (до 24 часов или до разрушения), после чего фиксируют остаточную деформацию.

Литература

1. ГОСТ 10198-91. Ящики деревянные для грузов массой св. 200 до 20000 кг. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 47 с.
2. ГОСТ 25014-81. Тара транспортная наполненная. Методы испытания прочности при штабелировании. – М.: Стандартинформ, 2008. – 6 с.

УДК 681

СТУЛЬЧИК ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ С ДЦП

Студент гр. 11307222 Чайко А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Есьман Г. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Обеспечение эффективной реабилитации детей с нарушениями функций опорно-двигательного аппарата является важной медико-социальной задачей. Дети с детским церебральным параличом нуждаются в специализированных средствах позиционирования, позволяющих выполнять повседневные действия – прием пищи, занятия, развитие моторики – в физиологически правильном положении. Длительное пребывание в неподдерживаемой позе может приводить к вторичным деформациям скелета, усилению спастичности и ухудшению дыхательных функций.

Существующие конструкции реабилитационных кресел зачастую не обеспечивают достаточной адаптации под индивидуальные особенности ребенка либо не позволяют плавно изменять положение тела. Это снижает эффективность реабилитации и ограничивает возможности применения устройств на ранних этапах терапии.

Предлагаемая разработка представляет собой стульчик для реабилитации детей (рис. 1), предназначенный для размещения и фиксации ребенка в сидячем, наклонном или горизонтальном положении при проведении развивающих занятий, кормления и обучении навыкам самообслуживания.

Технический результат заключается в повышении эффективности реабилитационного процесса за счет обеспечения регулируемого позиционирования ребенка и возможности плавного изменения угла наклона сиденья.

Указанный результат достигается благодаря конструктивному исполнению устройства. Стульчик (рис. 1) состоит из основания 1 с боковинами 2, сиденья 3 с возможностью регулировки по высоте и глубине, подножек 5 с креплениями для стоп 6, спинки 10 с мягкими элементами 13, подголовника 4, подлокотников 15, фиксационных ремней 14, рабочего столика 18 и линейного привода.

Линейный привод обеспечивает плавное изменение угла наклона сиденья, позволяя адаптировать положение ребенка в зависимости от его состояния. Подножки регулируются по углу, что способствует правильному формированию положения нижних конечностей. Система ремней и боковых упоров обеспечивает стабилизацию таза и туловища, предотвращая патологические позы.

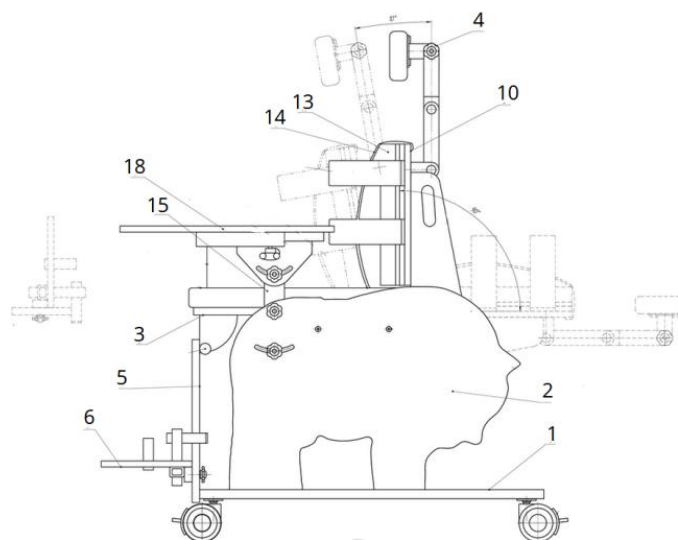


Рис. 1. Стульчик для реабилитации детей с ДЦП

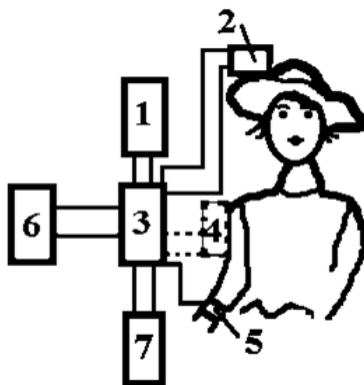
Работа устройства заключается в индивидуальной настройке его элементов под антропометрические параметры ребенка. После размещения пользователя регулируются подножки, боковые упоры, подголовник и подлокотники. Далее с помощью привода устанавливается необходимый угол наклона сиденья. Рабочий столик позволяет выполнять развивающие действия без нарушения стабильного положения тела.

Стульчик может применяться как в медицинских учреждениях и реабилитационных центрах, так и в домашних условиях.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОЗЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

УФ излучение оказывает двойное действие на организм человека. С одной стороны, УФ-лучи способствуют выработке витамина D, стимулирует выработку нейромедиатора глутамата, улучшая работу нервных клеток, с другой стороны, повреждают роговицу, конъюнктиву, хрусталик, ДНК клеток, увеличивая риск меланомы, плоскоклеточной и базальноклеточной карцином. Поэтому актуально контролировать допустимую дозу УФ излучения, получаемую человеком. В [1] предлагается система измерения УФ индекса и приведено влияние его значения на человека в зависимости от типа кожи. Данная концепция не учитывает особенности генотипа конкретного человека, его текущее состояние. Поэтому была предложена более точная система определения допустимой биодозы УФ излучения, схематично изображенная на рис. 1.



Система активируется и выключается устройством управления 1. На одежде человека размещается устройство 2 для измерения дозы УФ излучения. Информация от него поступает в процессорный блок 3. Туда же поступает информация от устройства 4 для тестового УФ облучения человека и определения допустимой биодозы по минимальной эритеме. Оно периодически подключается к общей системе и отсоединяется от нее. Кроме того, в процессор поступает информация от датчиков 5 текущего состояния пациента, а также из периодически пополняемой базы 6 данных об общем состоянии пациента. Загруженное в процессорный блок программное обеспечение на основании сравнения допустимой суточной дозы УФ излучения для конкретного человека и получаемой в процессе дня фактической дозы формирует рекомендации о необходимости защиты от него или его текущей безопасности. Рекомендации доводятся до человека, через устройство оповещения 7. Все элементы системы являются миниатюрными, кроме съемного устройства 4, легко встраиваются в современные гаджеты, поэтому система может использоваться ежедневно.

1. Саяпина, Д. Г. Исследование влияния ультрафиолетового диапазона излучения на состояние кожных покровов человека / Д. Г. Саяпина, В. Е. Сивоконь, Н. В. Лимаренко // Молодой исследователь Дона. – 2022. – № 3 (36). – С. 144–148.

УДК 671.1.02

СТРУКТУРА ОРНАМЕНТА КЕЛЬТСКИХ УКРАШЕНИЙ

Студент гр. 11309123 Шубин К. А.

Кандидат техн. наук, доцент Луговой В. П.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Кельтские украшения как отражение структуры мира. Кельтская традиция, строится на представлении о многослойном мире: мире людей, мире богов и потустороннем пространстве, между которыми существуют проницаемые границы. Одной из наиболее узнаваемых черт кельтского искусства являются переплетенные орнаменты – узлы, спирали, непрерывные линии. Такие формы выражают идею: цикличности времени, непрерывности жизни и смерти, взаимосвязанности всех уровней бытия.

Металлу как сакральному материалу кельты придавали особое значение металлам – особенно золоту и бронзе. В мифах часто упоминаются сверкающие предметы из Иного мира: котлы, чаши, оружие.

Орнамент кельтских украшений можно рассматривать как форму «безмолвного повествования», где орнамент является узором, построенным по законам симметрии, или подчиненный определенному ритму. В их декоративном оформлении орнамента присутствует религиозно-культовый и символично-аллегорический характеры, и растительные элементы через них запечатлены особенности кельтской культуры.

Композиция. Кельтская традиция глубоко связана с устной поэзией. Эпические тексты строятся на повторениях, формульных выражениях, параллелизмах. Орнамент работает по схожему принципу: он основан на ритме и повторе. Повторение мотива не означает механическое копирование. Оно создает ощущение порядка, который воспроизводится снова и снова рис. 1, а. Но в этом повторе всегда есть вариация, например помимо повтора также часто можно увидеть чередование по форме или прогрессию по углу поворота. Орнамент, таким образом, можно рассматривать как визуальный аналог устной традиции. Одним из основных элементов орнамента является его мотив – основной элемент орнамента, который может многократно повторяться и одним из подобных мотивов является центр. Многие кельтские украшения – броши, фибулы, подвески – строятся вокруг центра. От него расходятся линии, которые затем возвращаются к исходной точке рис. 1, б. Такая композиция отражает важную для кельтской мысли идею центра как источника силы. Также одним из элементов композиции был контраст орнаменты часто строились на контрасте темных линий и светлого фона или использовании оттенков, имитирующих металл (золото, серебро) или дерево. Ритм и повтор как отражение поэтической структуры, организующей системой орнамента является ритм: повторение или чередование сходных элементов, форм или мотивов, является основой выразительности и движения всей композиции.

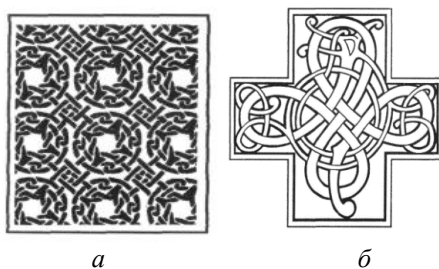


Рис. 1. Примеры кельтского орнамента: а – орнамента повторения, б – орнамента с центром

Литература

1. Алвин, Р. Наследие Кельтов / Р. Алвин; пер. с англ. Михайлова. – Т.: Михайлова, 1999. – 479 с.
2. Ивановская, В. П. Кельтские орнаменты / В. П. Ивановская. – М.: В. Шевчук, 2003. – 169 с.

СЕКЦИЯ 3. МИКРО- И НАНОТЕХНИКА

UDC 681

NANO-ENGINEERED MATERIALS FOR EARTHQUAKE-RESILIENT STRUCTURES

Dr. Puneet Jain

Structural Engineering, Nashik, India

The seismic performance of reinforced concrete (RC) structures is governed by their ability to dissipate energy, control cracking, and maintain stiffness under cyclic loading. Conventional concrete exhibits brittle behavior and rapid stiffness degradation during earthquakes, leading to severe structural damage. Recent advances in nanotechnology provide promising pathways to engineer cementitious composites with enhanced ductility, toughness, and damage tolerance. This study presents a mechanistic framework linking nano-scale material modification to macro-scale seismic resilience of RC structures. The role of nano-silica and carbon-based nanofillers in improving interfacial transition zone (ITZ) densification, micro-crack bridging, and hysteretic energy dissipation is discussed. A simplified constitutive relation is proposed to relate nano-modification to effective stiffness and damage evolution under cyclic loading. The proposed approach highlights the potential of nano-engineered concrete for developing next-generation earthquake-resilient infrastructure.

Earthquake-induced failures in RC structures are primarily associated with brittle cracking, loss of stiffness, and limited energy dissipation capacity. Traditional approaches to improve seismic performance focus on reinforcement detailing and structural configuration, while material-level innovations remain underutilized. Nanotechnology enables the tailoring of cementitious materials at the nano-scale, offering the potential to fundamentally alter crack initiation, propagation, and energy dissipation mechanisms. However, most existing studies emphasize compressive strength enhancement, with limited focus on seismic performance parameters such as ductility and hysteretic behavior. This paper addresses this gap by proposing a nano-engineered material framework aimed at enhancing earthquake resilience of RC structures.

Nano-Scale Mechanisms for Seismic Resilience. Nano-silica particles refine pore structure and densify the ITZ, resulting in delayed crack initiation and improved stiffness retention. Carbon-based nanomaterials such as carbon nanotubes and graphene nanoplatelets provide crack-bridging at the nano-scale, enhancing tensile capacity and post-cracking toughness. These mechanisms contribute to improved hysteretic energy dissipation and reduced stiffness degradation under cyclic loading.

Mechanistic Modeling of Nano-Modified Concrete. The influence of nano-modification on effective stiffness degradation of concrete under cyclic loading may be expressed as:

$$E_{eff} = E_0 \cdot (1 + \alpha \cdot V_n - \beta \cdot D),$$

where E_{eff} is the effective modulus of elasticity, E_0 is the elastic modulus of conventional concrete, V_n is the nano-additive volume fraction, D is a damage parameter representing crack density, and α , β are material constants.

Implications for Earthquake-Resistant Design. Nano-engineered concrete exhibits enhanced ductility, reduced stiffness degradation, and improved energy dissipation capacity, which directly translate into improved seismic performance of RC members. The proposed framework provides a rational basis for incorporating nano-modified materials into performance-based earthquake engineering and future design guidelines.

Nano-engineered cementitious composites represent a promising pathway for developing earthquake-resilient structures. By linking nano-scale mechanisms to macro-scale seismic response, this study provides a foundation for material-level innovations in earthquake engineering. Future research should focus on experimental validation under cyclic loading and long-term durability assessment of nano-modified concrete.

References

1. Li, G. Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO₂ / G. Li // *Cement and Concrete Research*. – 2004. – Vol. 34, № 6. – P. 1043–1049.
2. Konsta-Gdoutos, M. S. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement-based materials / M. S. Konsta-Gdoutos, Z. S. Metaxa, S. P. Shah // *Cement and Concrete Research*. – 2010. – Vol. 40, № 7. – P. 1052–1059.
3. Sanchez, F. Nanotechnology in concrete – A review / F. Sanchez, K. Sobolev // *Construction and Building Materials*. – 2010. – Vol. 24, № 11. – P. 2060–2071.

УДК 681.2.084

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ MEMS-СЕНСОРОВ ПРИ АДСОРБЦИИ МОЛЕКУЛ ГАЗА

Аспирант Антонов М. С.

Д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Химический сенсор представляет собой аналитическое устройство, обеспечивающее селективный отклик на присутствие молекул вещества и преобразующее информацию о его концентрации в измеримый электрический сигнал.

Классификация сенсоров осуществляется по ряду ключевых признаков.

По физическому принципу работы: электрические, магнитные, акустические, химические, оптические и термические.

По конструктивному исполнению: дискретные детекторы и мультисенсорные массивы (системы типа «электронный нос»), формирующие уникальный образ газовой смеси для ее последующей идентификации и т. д.

Функционирование резонансных устройств базируется на использовании обратного пьезоэлектрического эффекта. Возбуждение переменным напряжением инициирует механические колебания пьезоэлемента, резонансная частота которых определена его геометрическими и упругими характеристикам [1].

Механизм детектирования. В динамическом режиме кантилевер рассматривается как гармонический осциллятор. При адсорбции молекул происходит изменение резонансной частоты, обусловленное увеличением эффективной массы балки [2]. Для прямоугольного кантилевера сдвиг частоты ΔF выражается соотношением (1):

$$\Delta F \approx -\frac{f_0}{2m_{\text{eff}}} \Delta m. \quad (1)$$

В среде разработки Spyder на языке программирования Python, было проведено математическое моделирование и расчет изменения резонансной частоты кремниевого кантилевера с размерами: Длина $L = 2$ мкм, ширина $W = 0,1$ мкм, толщина $H = 0,50$ мкм. При адсорбции слоя из 10^6 молекул метана (CH_4). Сдвиг частоты ΔF составил 40,974 кГц, амплитуда $A = 151,48$ нм. На рисунке 1 представлена амплитудно-частотная характеристика кремниевого кантилевера.

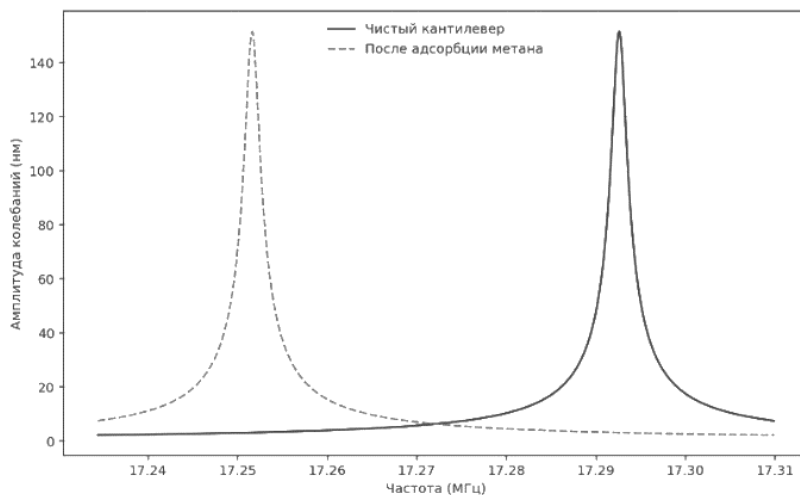


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика кремниевого кантилевера при адсорбции молекул метана (CH_4)

Литература

1. Сигов, А. С. Физические принципы и технологии современных резонансных химических сенсоров (обзор) / А. С. Сигов, И. А. Киреев, С. Л. Конюшков // Российский технологический журнал. – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 18–28.
2. Binnig, G. Atomic force microscope / G. Binnig, C. F. Quate, C. Gerber // Physical Review Letters. – 1986. – Vol. 56, № 9. – P. 930–933.

УДК 621.3.049.77

ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТИМОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОЙ ИНТЕГРАЦИИ КМОП И МЭМС

Студент гр. 11310122 Аль-Ясини Д.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Монолитная интеграция схем на комплементарных металл–оксид–полупроводниковых структурах (КМОП) с микроэлектромеханическими системами (МЭМС) является одним из наиболее перспективных направлений микросистемной техники, так как позволяет совместить чувствительный микромеханический элемент и электронную часть обработки сигнала на одном кристалле [1–3]. Такой подход уменьшает габариты изделия и число соединений, снижает паразитные емкости и сопротивления, повышает помехоустойчивость и дает возможность реализовать на кристалле калибровку, компенсацию температурного дрейфа и цифровую обработку [2, 3]. Вместе с тем практическая реализация КМОП–МЭМС требует согласования двух различных технологических культур: микроэлектроники и микромеханики, что приводит к ряду критических проблем совместимости [1, 4].

Ключевым ограничением выступает термический бюджет. Многие традиционные операции формирования МЭМС-структур (осаждение поликремния, высокотемпературные отжиги для улучшения механических свойств пленок и снятия остаточных напряжений) требуют температур, которые становятся недопустимыми после завершения формирования транзисторов, межсоединений и пассивирующих слоев КМОП [1, 4, 5]. Превышение допустимых температур вызывает изменения параметров транзисторов, деградацию диэлектриков, ухудшение надежности металлизации и увеличение вероятности отказов. Поэтому при монолитной интеграции необходимо либо переносить высокотемпературные операции на этапы до КМОП (вариант «МЭМС-сначала»), либо использовать низкотемпературные технологические модули на заключительных стадиях (вариант «МЭМС-после») [1–3].

Вторая группа проблем связана с совместимостью материалов и механикой многослойных структур. При совмещении кремния, диэлектриков, металлов межсоединений и структурных слоев МЭМС возникает различие коэффициентов теплового расширения и остаточных напряжений, что приводит к изгибу мембран и балок, дрейфу резонансных частот, изменению чувствительности и росту разброса параметров по пластине [2–4]. Кроме того, многие процессы травления и очистки, применяемые в микромеханике, могут повреждать КМОП-слои: подтачивать металлы, изменять свойства диэлектриков, ухудшать адгезию и вызывать микродефекты. Отдельной задачей является обеспечение чистоты: частицы и контаминация на пост-КМОП-этапах способны ухудшать электрические параметры и приводить к «залипанию» подвижных элементов МЭМС [1, 2, 4].

Таким образом, успешная монолитная интеграция КМОП и МЭМС сводится к выбору технологической стратегии и набора совместимых материалов. Вариант «МЭМС-сначала» обеспечивает лучшие механические свойства (возможны высокие температуры), но требует сложной планаризации и строгого контроля влияния ранних МЭМС-операций на последующую КМОП-литографию [1–3]. Вариант «МЭМС-после» проще с точки зрения использования стандартной КМОП-линии, однако жестко ограничен по температуре и выбору структурных и жертвенных слоев, что требует применения низкотемпературного осаждения, аккуратного селективного травления и мер по защите межсоединений [1, 4, 5]. Перспективным направлением является развитие КМОП-совместимых модулей МЭМС, оптимизация последовательности операций и снижение чувствительности микромеханических структур к остаточным напряжениям и технологическому разбросу [2–5].

Литература

1. Кашкаров, А. П. Микроэлектромеханические системы и элементы / А. П. Кашкаров. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 114 с.
2. Гуртов, В. А. Микроэлектромеханические системы: учебное пособие / В. А. Гуртов, М. А. Беляев, А. Г. Бакшеева. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. – 142 с.
3. Микроэлектромеханические системы и датчики / М. Е. Калинин, О. И. Пирожникова, В. Л. Ткалич, А. В. Комарова. – СПб.: Университет ИТМО, 2020. – 75 с.
4. Белоус, А. И. Основы проектирования субмикронных микросхем / А. И. Белоус, Г. Я. Красников, В. А. Солодуха. – М.: Техносфера, 2020. – 782 с.
5. Белоус, А. И. МЭМС: конструкции, технологии, приложения / А. И. Белоус, С. А. Чижик. – М.: Техносфера, 2024. – 620 с.

УДК 621.382.333.33

**ДВУХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИТТЕРНОГО $P-N^+$ -ПЕРЕХОДА
В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ**

Студент гр. 11305125 Александрович В. С.

Кандидат техн. наук, доцент Лагунович Н. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

P - n -переход является основой большого количества полупроводниковых приборов. В биполярных транзисторах его геометрия и профиль легирования определяют ключевые электрические параметры, такие как коэффициент усиления, пробивное напряжение и быстродействие. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяют выполнять двухмерное моделирование таких структур в различных системах координат, однако вопрос о степени влияния выбора системы координат на точность расчетов остается актуальным, особенно при переходе от плоской части p - n -структуры к ее периферийным областям, имеющим сферическую и цилиндрическую форму. Такие переходы характерны для любых типов полупроводниковых приборных структур. Целью данной работы является сравнительный анализ результатов приборно-технологического моделирования эмиттерного p - n^+ -перехода кремниевого n - p - n -транзистора в прямоугольной (декартовой) и цилиндрической системах координат.

Моделирование выполнялось с использованием программного комплекса фирмы Synopsys (версия V-2003.12-0). Технологический этап реализован в программе TSuprem4, где была сформирована структура p - n^+ -перехода путем ионного легирования фосфором (доза $4,06 \cdot 10^{15}$ ион/см², энергия 60 кэВ) в область базы p -типа с исходной концентрацией бора $4 \cdot 10^{17}$ см⁻³, с последующими термообработками. Для корректного сравнения были использованы два типа структур: полная (для прямоугольной системы координат) и ее половин (для цилиндрической системы координат, полученная вращением). Приборное моделирование выполнено в программе Medici, где рассчитаны обратные ветви вольт-амперных характеристик (ВАХ) и определены пробивные напряжения.

Анализ конструктивно-технологических параметров, полученных на этапе технологического моделирования, показал, что удельное сопротивление области p -типа (ρ_v) составило 0,062 Ом·см для обоих случаев. Поверхностное сопротивление области n^+ -типа (R_s) для полной структуры составило 27 Ом/кв, а для ее половины – 25 Ом/кв, что дает расхождение ~7,4 %. Глубина залегания перехода (X_j) для полной структуры равна 0,74 мкм, для ее половины – 0,76 мкм (разница ~2,6 %). Таким образом, на технологические параметры большее влияние оказывает размер моделируемой области, чем выбор системы координат.

Приборное моделирование позволило определить значения пробивного напряжения ($U_{\text{проб}}$) при плотностях тока, протекающих через 1 мкм² планарной поверхности как полной структуры, так и ее половины. Для полной структуры в прямоугольной системе координат $U_{\text{проб}}$ составило 8,74 В, для половины структуры в прямоугольной системе – 8,78 В, для структуры в цилиндрической системе координат – 8,65 В. Разница в значениях $U_{\text{проб}}$, полученных в разных системах координат, не превышает 1–1,5 %. Форма ВАХ во всех трех случаях демонстрирует характерный для лавинного пробоя резкий рост тока при достижении критического напряжения, что подтверждает корректность модельных расчетов.

Выполненное двухмерное моделирование p - n^+ -перехода в декартовой и цилиндрической системах координат показало, что расхождение в конструктивно-технологических параметрах (R_s , X_j) может достигать 7,4 %, что связано с особенностями расчета в TSuprem4 и различиями в размерах моделируемых областей. В то же время электрофизические параметры, такие как пробивное напряжение, определяемые в Medici, отличаются не более чем на 1,5 %, что находится в пределах погрешности инженерных расчетов. Это свидетельствует о том, что исследуемую структуру можно моделировать с высокой степенью точности в обеих системах координат, что подтверждает адекватность расчетов, полученных с применением программы Medici для данного класса задач. Результаты моделирования могут быть использованы при проектировании биполярных транзисторов и оптимизации их конструктивно-технологических параметров на этапе разработки, а также при переходе от моделей, описывающих процессы переноса носителей заряда в планарных структурах, к моделям, позволяющим рассчитать поведение подвижных носителей заряда в периферийных областях структуры, имеющих сферическую или цилиндрическую формы.

Литература

1. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 ч. Ч. 1 / С. Зи; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 455 с.
2. Лагунович, Н. Л. Моделирование высоковольтного кремниевого диода, построение зависимостей его плотности тока от температуры / Н. Л. Лагунович // Проблемы разработки перспективных микро- и нано-электронных систем: сборник трудов IX Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 5–8 октября 2020 г.: в 4 вып. – М., 2020. – Вып. 2. – С. 22–28.

УДК 621.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЭМС НА АДГЕЗИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Магистрант гр. 7-06-0716-03 Беницевич А. П.

Ст. преподаватель Люцко К. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной научной работы заключается в исследовании влияния физико-химических и топографических свойств рабочих поверхностей микроэлектромеханических систем (МЭМС) на характеристики адгезионных взаимодействий. В работе рассматриваются основные механизмы адгезии на микро- и наноуровне, анализируется зависимость адгезионных сил от параметров поверхности, а также современные методы измерения и контроля адгезии.

В основе работы МЭМС с подвижными элементами лежит проблема нежелательной адгезии (стикции), которая является одним из главных факторов, ограничивающих их надежность и долговечность. При миниатюризации устройств отношение поверхностных сил к объемным резко возрастает, делая адгезионные взаимодействия доминирующими (рис. 1). К основным механизмам адгезии относятся ван-дер-ваальсовы, капиллярные и электростатические силы, причем вклад каждого из них зависит от материала, геометрии и условий эксплуатации [1].

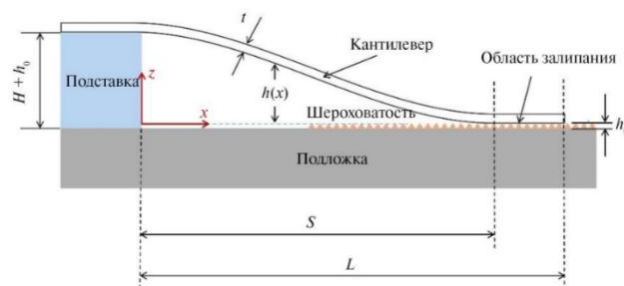


Рис. 1. Схематичное представление залипшего кантилевера. Зазор $h(x)$ отсчитывается от среднего расстояния между поверхностями h_0 в области контакта

Свойства рабочих поверхностей оказывают определяющее влияние на адгезию. Шероховатость поверхности даже на уровне единиц нанометров способна существенно уменьшить реальную площадь контакта и, как следствие, адгезионные силы. Химический состав поверхности определяет ее поверхностную энергию и склонность к капиллярной конденсации: гидрофобные покрытия минимизируют капиллярные силы при повышенной влажности, в то время как гидрофильные поверхности способствуют их росту.

Для количественной оценки адгезионных сил применяются различные методы, включая атомно-силовую микроскопию (АСМ) для локальных измерений и метод свободных микроколебаний маятника, который позволяет получать усредненные по площади значения работы адгезии.

На основе проведенного анализа разрабатываются рекомендации по снижению нежелательной адгезии в МЭМС. Перспективным направлением является модификация поверхностей с использованием самособирающихся монослоев (SAM) и алмазоподобных углеродных покрытий (DLC), обеспечивающих низкую поверхностную энергию и высокую стабильность. Также актуальны исследования в области топографической модификации поверхности, включая создание биомиметических структур, позволяющих управлять реальной площадью контакта [2].

Литература

1. Beake, B. D. Nano- and Micro-Scale Impact Testing of Hard Coatings: A Review / B. D. Beake // Coatings. – 2022. – Vol. 12, № 6. – Art. 793.

2. Design and fabrication of a series contact RF MEMS switch with a novel top electrode / Q. Wu, H. Guo, Q. Liu [et al.] // Nanotechnology and Precision Engineering. – 2023. – Vol. 6, № 1. – Art. 013001.

УДК 620.3

ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ In_2S_3 В РАСТВОРЕ ПОЛИСУЛЬФИДА НАТРИЯ

Магистрант Веремей И. С.¹

Д-р физ.-мат. наук, профессор Маркевич М. И.²,
кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.³

¹Университет Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

²ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Импульсное лазерное воздействие на границе раздела твердое тело – жидкая среда открывает возможности для селективного получения соединений, недостижимых при равновесном нагреве. Особый интерес представляет система In-S , насчитывающая девять полиморфных и стехиометрических фаз, что делает ее удобной моделью для изучения кинетики лазерного синтеза. Целью данной работы являлось получение сульфидов индия при облучении металлических пленок через слой прозрачного электролита, содержащего полисульфид-ионы.

В качестве мишеней использовались пленки индия толщиной 0,7 мкм, осажденные на кремниевые подложки (толщина 200 мкм). Химически активная среда представляла собой водный раствор полисульфида натрия с содержанием элементной серы 80 и 150 г/л. Концентрации подбирались из условия минимального поглощения на длине волны излучения. Образец помещался в кювету и заливался слоем раствора толщиной 1,0–1,5 мм. Воздействие осуществлялось однократными импульсами неодимового лазера на стекле (длина волны 1,06 мкм, длительность 50 нс) в диапазоне плотностей мощности до $2,8 \cdot 10^9$ Вт/см². Схема обработки приведена на рисунке 1.

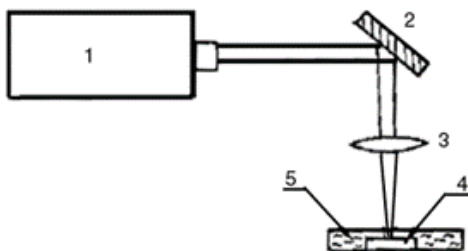


Рис. 1. Схема установки лазерного синтеза материалов:

1 – лазер на стекле с неодимом; 2, 3 – коллимационное устройство; 4 – исследуемый образец;
5 – жидкость (раствор полисульфида натрия)

Установлено, что при достижении пороговой плотности мощности $2,8 \cdot 10^9$ Вт/см² на рентгенограммах обработанных образцов фиксируются рефлексы, соответствующие только одной фазе – In_2S_3 . Отсутствие других сульфидных фаз объясняется релаксационным характером процесса: времена зарождения и распада промежуточных соединений оказываются соизмеримы с длительностью лазерного импульса, что препятствует их кристаллизации. Высокая прозрачность раствора обеспечивает доставку энергии непосредственно к поверхности без объемного кипения жидкости. Полученный результат подтверждает возможность управляемого селективного синтеза методом лазерной обработки в жидких средах.

Литература

1. Формирование лазерно-индуцированных периодических структур на тонких пленках нитридов переходных металлов и полупроводников / К. А. Бронников, С. А. Гладких, К. А. Окотруб [и др.] // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52, № 11. – С. 1012–1017.

2. Fabrication of ultra-violet photodetector on laser MBE grown epitaxial GaN nanowalls on sapphire / V. Aggarwal, S. Gautam, U. Varshney [et al.] // Journal of Materials Research. – 2023. – Vol. 38. – P. 429–438.

УДК 620.3

ОБРАЗОВАНИЕ ПОР В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ НИКЕЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Магистрант Веремей И. С.¹

Д-р физ.-мат. наук, профессор Маркевич М. И.²,
кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.³

¹Университет Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

²ФТИ НАН Беларуси, Минск, Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современной микроэлектронике все более широкое распространение получают методы импульсной обработки материалов с использованием как когерентных, так и некогерентных источников излучения для модификации поверхностных слоев. При облучении тонких металлических пленок лазерными импульсами происходит резкий нагрев поверхности с последующим быстрым охлаждением, что индуцирует генерацию значительного количества неравновесных вакансий [1]. Исходные пленки уже содержат определенную концентрацию собственных точечных дефектов – вакансий и межузельных атомов.

Лазерное воздействие способно за короткий промежуток времени многократно повысить концентрацию дефектов, которая может существенно превысить термодинамически равновесный уровень. В таких условиях становится возможным взаимодействие между дефектами, приводящее к образованию сложных дефектных комплексов. Коллективный характер взаимодействия может вызывать пространственное перераспределение дефектов с формированием пор и вакансионных петель, что создает значительные внутренние напряжения и потенциально способно вызвать разрушение пленок.

Существенную роль в процессах перераспределения дефектов играют примесные атомы, выступающие в качестве центров гетерогенного зарождения вакансионных комплексов и влияющие на кинетику миграции вакансий. Энергия связи вакансии с такими примесями, как кислород, азот или углерод, составляет 0,2–0,5 эВ, что обеспечивает образование устойчивых комплексов при взаимодействии с вакансиями.

На рисунке 1 представлено изображение пленки никеля, подвергшейся лазерному облучению на воздухе.

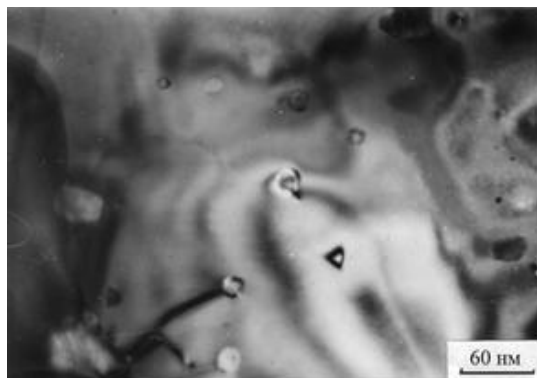


Рис. 1. Структура поликристаллической пленки никеля после облучения лазером на АИГ на воздухе с $\tau = 1$ мс, $q = 2 \cdot 10^4$ Вт/см²

Таким образом, при импульсном отжиге поликристаллических тонких пленок никеля на воздухе происходит диффузия в пленку газовых примесей, которые служат зародышами образования и роста пор.

Литература

1. Маркевич, М. И. Структурные превращения в тонких металлических пленках при импульсном лазерном воздействии / М. И. Маркевич, А. М. Чапланов // Неорганические материалы. – 2016. – Т. 52, № 5. – С. 28–35.

УДК 621.681.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДАТЧИКАМИ АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

Студент гр. 11307124 Войтеховский А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Реутская О. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

К основным типам классификации вибродатчиков следует отнести принцип действия, измеряемый параметр и конструкция. В свою очередь такие датчики можно разделить условно на следующие группы: пьезоэлектрические (акселерометры), МЭМС-датчики, вихревые, оптические и электродинамические.

Для исследования вибрационных сигналов был выбран пьезоэлектрический датчик типа АС102-1А. Принцип работы такого устройства заключается в преобразовании механического воздействия (давления, вибрации, ускорения) в электрический сигнал на основе прямого пьезоэлектрического эффекта. При деформации чувствительного элемента из кварца или пьезокерамики на гранях кристалла возникает электрический заряд, пропорциональный силе воздействия [1]. На рис. 1 представлен внешний вид исследуемого устройства.

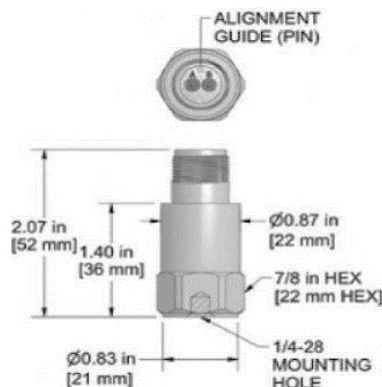


Рис. 1. Пьезоакселерометр АС102-1А

Сигнал с датчика фиксируется при помощи виброизмерительного прибора АГАТ-М. Данный прибор предназначен для измерения общего уровня вибрации, амплитуды гармонической составляющей оборотной частоты. В результате исследований проведен спектральный анализ вибросигнала. Для оценки вибраций используются подшипники качения и исследование дефектов для них осуществляется по пик-фактору и анализу формы огибающего вибросигнала [2].

Визуализация измерений представлена на рис. 2.



Рис. 2. Визуализация результатов измерения выходных характеристик датчика вибраций на приборе АГАТ-М

Литература

1. Электрорадиоматериалы / Б. М. Тареев, Н. В. Короткова, В. М. Петров, А. А. Преображенский. – М.: Высшая школа, 1978. – С. 208–212.
2. АГАТ-М – Двухканальный анализатор вибрации // 1ep.by. – URL: <https://1ep.by/product/agat-m-2-h-kanalnyj-analizator-vibraczii/> (дата обращения: 27.02.2026).

УДК 621.793.6:004.42(047)(476)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФфуЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИРМЫ SYNOPSYS

Студенты гр. 11501124 Волчанин А. Д., Дорошков П. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Лагунович Н. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Проведено сравнение двух подходов к моделированию диффузионного легирования фосфором в программе Taurus TSUPREM-4 (Synopsys). Первый подход использует две команды: осаждение фосфоросиликатного стекла и разгонку примеси. Второй подход employs одну команду, моделирующую диффузию из неограниченного источника. Сравнение выполнено на примере моделирования стабилизатора, изготавливаемого на подложке p -типа с удельным сопротивлением $0,01 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Расчеты показали, что различие напряжений стабилизации для двух подходов составило $6,7 \%$.

Современная разработка изделий микроэлектроники невозможна без моделирования технологических процессов. В работе представлены результаты моделирования диффузии фосфора в кремниевую подложку p -типа с применением двух различных способов описания в программе Taurus TSUPREM-4. Цель работы – проверка адекватности упрощенного описания диффузии из неограниченного источника применительно к изготовлению стабилизатора.

Исследование проводилось для подложки КДБ0,01 ($pV = 0,01 \text{ Ом}\cdot\text{см}$). Конструкция стабилизатора включает охранный кольцо n^+ -типа по периметру и рабочий p - n -переход, формируемый диффузией фосфора. Параметры процесса (температура, время, поверхностная концентрация) для обоих модельных подходов были идентичными. Для определения напряжения стабилизации рассчитывалось одномерное распределение примесей и вольт-амперная характеристика структуры. При моделировании двухстадийным методом (осаждение + разгонка) глубина залегания p - n -перехода составила $0,53 \text{ мкм}$, поверхностное сопротивление – $8,8 \text{ Ом}/\Omega$. Напряжение пробоя при плотности тока $3,2 \cdot 10^{-7} \text{ А}/\text{мкм}^2$ (соответствует току 5 мА через площадь $125 \times 125 \text{ мкм}$) составило $1,5 \text{ В}$. При использовании упрощенного подхода (одна команда «диффузия из неограниченного источника») глубина перехода составила $0,52 \text{ мкм}$ (расхождение $1,9 \%$), поверхностное сопротивление – $9,3 \text{ Ом}/\Omega$ (расхождение $5,4 \%$). Напряжение пробоя составило $1,4 \text{ В}$, что на $6,7 \%$ меньше, чем в первом случае.

Полученные расхождения ($6,7 \%$ по напряжению пробоя) укладываются в погрешность инженерных расчетов и экспериментальных измерений. Применение упрощенного подхода с использованием одной команды допустимо, если требуемая точность не превышает $\pm 10 \%$. Это позволяет упростить процедуру моделирования и сократить время расчетов. В рассмотренном примере, где диффузия является основной операцией, эффективность моделирования может возрасти до 50% . Результаты моделирования, полученные для случая применения сильнолегированных подложек.

Литература

1. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов / П. Антонетти [и др.]; под общ. ред. П. Антонетти. – М.: Радио и связь, 1988. – 325 с.
2. Synopsys: EDA Tools, Semiconductor IP & Systems Verification: [сайт]. – URL: <http://www.synopsys.com> (дата обращения: 17.03.2026).
3. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов / Н. М. Тугов, Б. А. Глебов, Н. А. Чарыков; под ред. В. А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 342 с.
4. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов: в 2 т. / С. Зи. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 456 с.
5. Sah, C. T. Fundamentals of solid-state electronics / C. T. Sah. – Singapore: World Scientific, 1991. – 1011 p.

УДК 621.3.049.77

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИМПРИНТ-ЛИТОГРАФИИ

Студент гр. 11304124 Вороводский Б. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Балохонов Д. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы – изучение современного оборудования для наноимпринт-литографии (NIL), анализ его видов, принципов действия и областей применения в технологии материалов электронной техники.

Импринт-литография (нанопечатная литография) – метод формирования нанометровых структур путем механического вдавливания штампа (молда) в слой полимера, нанесенный на

подложку. В отличие от фотолитографии, здесь не требуется сложная оптика и источники излучения; разрешение определяется исключительно топологией штампа. Технология активно внедряется в производство полупроводников, оптики, биочипов и метаматериалов.

Основные типы установок импринт-литографии. По способу давления и нагрева различают: термические импринтеры (используют нагрев полимера выше температуры стеклования) и УФ-импринтеры (отверждение жидкого фотополимера ультрафиолетом через прозрачный штамп). Оборудование также классифицируют по типу процесса: плоскостное (одна подложка за раз) и рулонное (ролл-ту-ролл) для гибкой электроники. Современные системы включают модули точного совмещения (выравнивание по меткам), дозаторы резиста, блоки контроля давления и температуры [2]. На рис. 1 представлена типовая схема модуля УФ-наноимпринта.

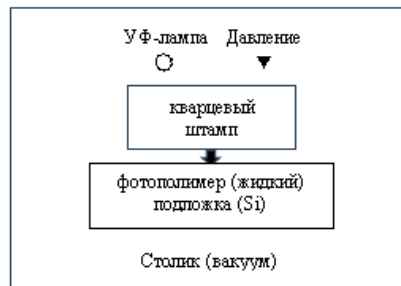


Рис. 1. Схема рабочей камеры установки УФ-наноимпринт-литографии: кварцевый штамп, слой жидкого полимера, подложка и узел совмещения

Как видно из рис. 1, ключевыми компонентами являются прозрачный штамп (обычно из кварца или сапфира) и система дозирования резиста. Высокоточное оборудование обеспечивает зазор в несколько нанометров между штампом и подложкой, что критично для равномерности рисунка.

Применение. Импринт-литография востребована при изготовлении интегральных схем (топологические нормы до 10 нм), светодиодов, фотонных кристаллов, дифракционных решеток, шаблонов для магнитной памяти. В микрофлюидике и биосенсорике технология позволяет создавать каналы и ячейки с высоким аспектным соотношением. Главное преимущество – низкая стоимость и высокая производительность (до 60 пластин/час в промышленных системах) [1].

Сравнение типов оборудования. Выбор установки определяется технологическими задачами и требуемой производительностью. Термические импринтеры отличаются простотой конструкции и низкой стоимостью, что делает их оптимальными для лабораторных исследований. Однако необходимость цикла нагрев/охлаждение ограничивает скорость процесса, а температурные деформации снижают воспроизводимость параметров. УФ-системы (UV-NIL) работают при комнатной температуре, обеспечивая разрешающую способность до 5 нм и высокую скорость цикла (секунды). Несмотря на необходимость использования прозрачных штампов и систем прецизионного дозирования резиста, данный тип оборудования является наиболее перспективным для современной микроэлектроники.

Выводы. Оборудование для УФ-наноимпринта сочетает нанометровую разрешающую способность, совместимость со стандартными КМОП-процессами и высокую пропускную способность (до 60 пластин/час). Технология применима для формирования затворов транзисторов ИС с топологическими нормами до 10 нм, а также для изготовления высокочувствительных сенсорных устройств: газовых датчиков на базе нанопроволок и биочипов с массивами наноотверстий для детектирования молекул. Минимальная ошибка совмещения и снижение стоимости литографического этапа в 2–3 раза делают системы UV-NIL эффективной альтернативой методам фотолитографии в глубоком ультрафиолете.

Литература

1. Chou, S. Y. Nanoimprint lithography / S. Y. Chou, P. R. Krauss, P. J. Renstrom // Journal of Vacuum Science & Technology B. – 1996. – Vol. 14, № 6. – P. 4129–4133.
2. Guo, L. J. Nanoimprint lithography: methods and material requirements / L. J. Guo // Advanced Materials. – 2007. – Vol. 19, № 4. – P. 495–513.

УДК 621.3.084:534-022.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКРОПРИВОДОВ

Студент гр. 11304124 Вороводский Б. Д.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В работе проводится сравнение двух основных типов микроприводов, используемых в МЭМС: электростатических и пьезоэлектрических. Рассматриваются преимущества и ограничения каждого типа на основе обзора литературы.

Электростатические приводы основаны на силе кулоновского притяжения электродов. Они просты в изготовлении, совместимы с кремниевой технологией, потребляют мало энергии. Недостатки: ограниченная плотность энергии и эффект pull-in (неконтролируемое схлопывание при превышении напряжения).

Сила для параллельных пластин:

$$F = \varepsilon_0 \varepsilon_r S U^2 / (2d^2), \quad (1)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная, ε_r – относительная проницаемость, S – площадь, U – напряжение, d – зазор.

Уменьшение зазора резко увеличивает силу, но ведет к эффекту втягивания при $d \leq 2/3 d_0$ [1].

Пьезоэлектрические приводы используют обратный пьезоэффект в материалах PZT, AlN. Они обеспечивают высокое усилие при малом ходе (нм – мкм), отличное быстродействие. Недостатки: сложность интеграции, гистерезис, чувствительность к температуре.

С точки зрения законов масштабирования электростатические силы (поверхностный эффект) лучше сохраняются при уменьшении размеров до микронного уровня, чем объемные силы, что делает их, более предпочтительными для микроробототехники. Однако пьезоприводы выигрывают там, где критичны высокие усилия при малом энергопотреблении [1].

Области применения. Электростатика оптимальна для микрозеркал, емкостных датчиков, где нужны перемещения 10–50 мкм. Пьезоприводы незаменимы в прецизионных манипуляторах, сканирующих микроскопах, микронасосах благодаря точности и усилию.

Перспективным направлением являются гибридные микроприводы, сочетающие электростатический и пьезоэлектрический принципы. Например, электростатический механизм используется для грубого позиционирования, а пьезоэлемент – для точной доводки. Такие системы позволяют объединить большой ход и высокую точность, хотя их конструкция сложнее [2].

Развитие материаловедения открывает новые возможности. Для пьезоприводов перспективны тонкие пленки скандата алюминия (AlScN), обладающие более высокими пьезомодулями, чем AlN. В электростатических приводах используются наноструктурированные электроды, увеличивающие площадь перекрытия и плотность энергии без увеличения габаритов.

Таблица 1 – Сравнение параметров

Параметр	Электростат.	Пьезоэлектр.
Усилие, мкН	10–500	500–5000
Ход, мкм	2–50	0,1–5
Плотность энергии, кДж/м ³	0,5–5	10–50
Напряжение, В	10–100	5–150

Таким образом, выбор определяется задачей: для больших ходов – электростатика, для высоких усилий и нанопозиционирования – пьезоэлектрика. Перспективно использование гибридных схем и новых материалов.

Литература

1. Liu, D. K. C. A brief review of actuation at the micro-scale using electrostatics, electromagnetics and piezoelectric ultrasonics / D. K. C. Liu, J. Friend, L. Yeo // Acoustical Science and Technology. – 2010. – Vol. 31, № 2. – P. 115–123.

2. Micro-Actuators for Micro-Robots: Electric and Magnetic // ScienceDirect. – 2007. – Vol. 89, № 2. – P. 45–52.

УДК 541.1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ

Студент гр. 11304124 Вороводский Б. Д.

Канд. техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы – изучить основные физико-химические правила процесса образования твердых растворов замещения, внедрения и вычитания и также факторы, влияющие на смешивание компонентов и распад твердых растворов.

Твердые растворы – это кристаллические фазы переменного состава, атомы в которых (молекулы, ионы) одного компонента частично замещают атомы другого компонента (растворы замещения) или располагаются в междоузлиях (растворах внедрения); возможны также фазы вычитания (дефектные растворы). Они играют ключевую роль в материаловедении: управляя составом, можно изменять механические, электрические и магнитные свойства материалов. Например, твердые растворы Si–Ge применяются в термоэлектричестве, а растворы на основе оксидов – в функциональной керамике.

Согласно правилам, Юм-Розери, изложенным в работе, неограниченная растворимость в твердом состоянии возможна при близкой кристаллической структуре, различии атомных радиусов не более 15 %, близкой электроотрицательности и одинаковой валентности. В системе Cu–Au, например, при высоких температурах существует непрерывный ряд твердых растворов, при охлаждении происходит упорядочение или распад с образованием промежуточных фаз. Энтропийный фактор способствует смешиванию при нагреве, при понижении температуры часто наблюдается распад твердого раствора с выделением дисперсных частиц, что используется для дисперсионного твердения сплавов [1].

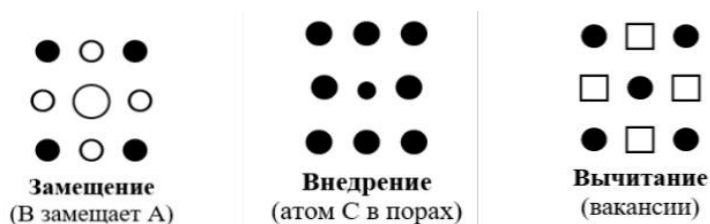


Рис. 1. Схема образования твердых растворов: замещение, внедрение, вычитание
(● – атомы растворителя, ○ – атомы замещения, ● – внедренный атом, □ – вакансии)

Твердые растворы находят широчайшее применение: в металлургии (латунь, бронза), полупроводниковой технике (твердые растворы $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$, $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$), в ионных проводниках (стабилизированный диоксид циркония), в магнитных материалах. Изменяя состав, можно точно подстраивать ширину запрещенной зоны, температуру Кюри, коррозионную стойкость. Многие современные высокоэнтропийные сплавы также представляют собой многокомпонентные твердые растворы.

В работе рассмотрены основные типы твердых растворов, условия их образования и факторы, определяющие стабильность. Правила Юм-Розери и термодинамические аспекты позволяют прогнозировать смесимость компонентов. Экспериментальное изучение твердых растворов остается важной задачей физической химии и материаловедения.

Для регулярных твердых растворов энергия смешения (избыточная свободная энергия) описывается выражением:

$$G_{изб} = \Omega \cdot x \cdot (1-x), \quad (1)$$

где Ω – параметр взаимодействия, x – мольная доля компонента.

Распад твердого раствора происходит при $\Omega > 2RT$, что приводит к появлению двухфазной области.

Литература

1. Вест, А. Химия твердого тела. Теория и приложения: в 2 ч. / А. Вест; пер. с англ. А. Р. Кауля; под ред. Ю. Д. Третьякова. – М.: Мир, 1988. – Ч. 1. – 558 с.

УДК 621.3.048.1

ЗАЩИТА КРИСТАЛЛОВ МИКРОСХЕМ ОТ РАДИАЦИИ МЕТОДОМ КОРПУСИРОВАНИЯ

Студент гр. 11310223 Глебоко И. И.

Кандидат тех. наук, доцент Балохонов Д. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

С течением прогресса появляется все большая необходимость защиты МЭМС и ИМС от радиации. Космическая, военная, ядерная промышленности, повышение уровня входящей космической радиации – все это несет необходимость защиты электроники от излучения.

Одним из перспективных решений в защите микросхем от радиации является корпусирование кристаллов микросхемы. Корпусирование позволяет предотвратить возникновение радиационно-индуцированных токов утечки, ионизирующих токов, «паразитных» токов, а также тиристорного эффекта возникающих в следствии облучения микросхемы радиацией. Корпус выступает в роли экрана и изготавливается из материалов, выполненных в виде пространственных структур, состоящих из отдельных слоев двух (или более) гомогенных металлов с различным атомным номером Z . Объединение в одной гетерогенной структуре веществ с малым и большим Z создает условия для многократного отражения частиц и γ -квантов от поверхности контакта слоев этих веществ и возвращение фотонов в слои, заполненные высокопоглощающим веществом, не выходя за внешние пределы структуры. Благодаря своему специфическому строению слоистого композита структура является своеобразной ловушкой для фотонов. Также корпуса могут изготавливаться из специализированного пленочного окисного слоя SiO_2 с последующим отжигом и формованием, а также материалов, высоколегированных арсенидом галлия (GaAs), антимонидом галлия (GaSb), а также германием (Ge). Корпуса с радиозащитой бывают керамическими, металлокерамическими, планарными, с интегрированным радиозащитным элементом (РЗЭ) и специализированными.

Герметизация металлокерамических корпусов с интегрированным РЗЭ достигается двумя путями: методом шовно-роликовой сварки (рис. 1, а) и методом пайки припоем на основе сплава золота при температурах $+280^\circ\text{C} \dots +320^\circ\text{C}$ (рис. 1, б) [1].

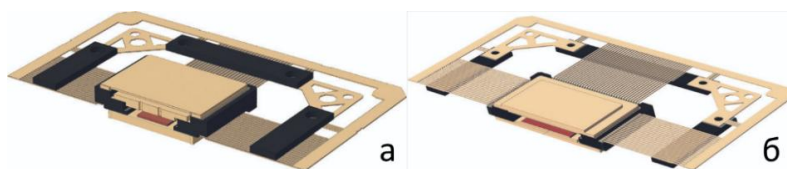


Рис. 1. Металлокерамические корпуса с интегрированным РЗЭ [1]:
а – шовно-роликовая сварка; б – пайка

Схема конструкции экранирования методом корпусирования приведена на рис. 2.

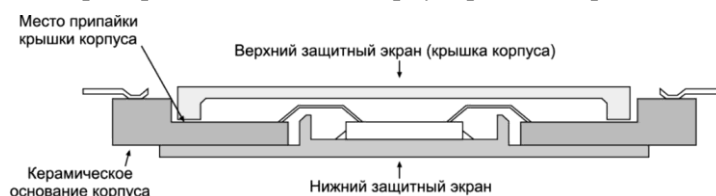


Рис. 2. Конструкция корпуса с РЗЭ [1]

Наиболее перспективным является металлокерамический корпус с РЗЭ из металлов с различным атомным номером Z , так как он формирует уникальную структуру с эффектом позволяющим обеспечить максимальную защиту при минимальных затратах (высокое соотношение «экономия – качество»). Такие корпуса применяются для создания радиационностойких микропроцессоров, микросхем памяти, ЦАП, АЦП, космической и военной электроники [2].

Литература

1. Радиационно-защитные корпуса для изделий микроэлектроники компании «ТЕСТПРИБОР» // Компоненты и технологии. – URL: <https://kit-e.ru/radiaczionno-zashhitnye-korpusa/> (дата обращения: 11.02.2026).
2. Белоус, А. И. Космическая электроника / А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов. – М.: Техносфера, 2015. – 488 с.

УДК 681

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

Магистрант гр. 51315024 Гриб А. А.

Д-р техн. наук, профессор Чижик С. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные методы проектирования и анализа радиационных экранов для защиты от ионизирующего излучения все чаще используют методы искусственного интеллекта (ИИ), в частности нейронные сети (НС), для ускорения расчетов, автоматизации оптимизации конструкций и сокращения зависимости от ресурсоемких симуляций Монте-Карло. Основные направления применения ИИ включают построение суррогат-моделей, интеграцию ML-прогнозов в существующие физические симуляторы, а также оптимизацию состава и геометрии экранов.

Одним из ключевых подходов является суррогатное моделирование Монте-Карло-симуляций. В работах Pal Chowdhury [1] показано, что сверточные нейронные сети способны эмулировать результаты трекинговых Монте-Карло -прогонов для разных конфигураций экранов с высокой точностью и значительно меньшей вычислительной затратой. Подобные суррогаты позволяют оценивать поля дозы или флюкс частиц для тысяч комбинаций материалов и толщин за доли секунды, что делает возможной многокритериальную оптимизацию конструкций без постоянных Монте-Карло-прогонов.

В исследованиях по предсказанию механических свойств экранных материалов [2] искусственные нейронные сети используются для оценки коэффициентов ослабления и экранирующих свойств композитных бетонов. Искусственные нейронные сети показали высокую корреляцию с независимыми справочными вычислениями (например, XCOM), что делает их полезным инструментом при проектировании бетона или стекло-полимерных экранов.

Помимо суррогатов, существует тенденция интеграции ML-предсказаний в физические симуляторы. Примеры из медицинской физики показывают, что глубокие сети (например, U-Net) могут предсказывать трехмерное распределение дозы в тканях, исходя из входных данных, аналогичных тем, что обрабатывает Монте-Карло -код – при этом достигая сравнимой точности. Такие гибридные подходы многообещающе для задач экранирования, где требуются расчеты в сложной геометрии.

Еще одно направление – оптимизация конструкции экранов. Комбинирование ML-моделей с методами оптимизации (генетическими алгоритмами, NSGA-II) позволяет эффективно искать оптимальные сочетания материалов и толщин при заданных критериях (радиационная защита, масса, стоимость). Работы [3] демонстрируют использование BP-нейронных сетей вместе с аналитическими методами для подбора конфигураций экранов D-T нейтронных генераторов, что свидетельствует о потенциале нейросетевых моделей в инженерных задачах.

Современные исследования также начинают использовать современные архитектуры Монте-Карло: attention-механизмы и трансформеры для учета сложных зависимостей в пространстве параметров дизайна, а также методы оценки неопределенности (Bayesian NN, ансамбли), что важно для инженерной надежности.

Таким образом, обзор показывает, что ИИ приносит несколько принципиальных преимуществ: значительное ускорение расчетов, возможность автоматической оптимизации параметров экранов и гибкая адаптация к различным типам источников излучения и материалов. Вместе с тем ключевые ограничения включают зависимость от обучающей выборки Монте-Карло-симуляций, необходимость тщательной валидации моделей и проблемы экстраполяции за пределы обучающего пространства.

Литература

1. Pal Chowdhury, R. Surrogate modeling of Monte Carlo radiation transport with convolutional neural networks for shielding optimization / R. Pal Chowdhury, J. C. Zamora, G. Bollen, T. Ginter // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2025. – Vol. 570, № 8. – P. 109855.
2. Imamoglu, M. Y. Prediction of radiation shielding properties for concrete by artificial neural networks / M. Y. Imamoglu, I. Akkurt, S. Arslankaya [et al.] // European Physical Journal Plus. – 2022. – Vol. 137. – P. 493.
3. BP Neural network based reconstruction method for radiation field applications / W. Zhou, G. Sun, Z. Yang, H. Wang, F. Li, J.-Y. Wang // Nuclear Engineering and Design. – 2021. – Vol. 388. – Art. 112208.

УДК 621

ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ МОЛИБДАТА ЛИТИЯ

Студент гр. 11310123 Данилетский М. Г.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучить технологический процесс получения кристаллов молибдата лития и разработать технологическую схему выращивания. В данной работе проведен критический обзор литературы. Изучена классификация методов выращивания монокристаллов. Особое внимание уделено изучению методов выращивания из растворов и контролю параметров кристаллов.

В качестве объекта изучения выбран молибдат лития – неорганическое соединение, соль лития и молибденовой кислоты с формулой Li_2MoO_4 . Относится к классу молибдатов. представляет собой бесцветные или белые кристаллы, хорошо растворимые в воде. По результатам изучения и анализа литературы разработана технологическая схема процесса, представленная на рис. 1. Метод изотермического осаждения основан на специфическом свойстве молибдата лития – ретроградной растворимости в воде. Это означает, что его растворимость не увеличивается, а уменьшается с ростом температуры. Поэтому для создания пересыщения раствора, необходимого для роста кристалла, нельзя использовать обычное охлаждение. Вместо этого при постоянной температуре 60 °С проводится контролируемое испарение части воды-растворителя. Удаление воды приводит к увеличению концентрации соли выше равновесной, то есть к пересыщению, которое и является движущей силой кристаллизации [1].

Рис. 1. Технологическая схема выращивания кристаллов Li_2MoO_4 **Литература**

1. Маноменова, В. Л. Кристаллы простых и сложных сульфатов никеля и кобальта как оптические фильтры для приборов солнечно-слепой технологии / В. Л. Маноменова, Е. Б. Руднева, А. Э. Волошин // Успехи химии. – 2016. – Т. 85, № 6. – С. 585–609.

УДК 621.865.8

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕНСОРОВ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Студент гр. 11304125 Дьяков М. В.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Микросенсорика – область промышленности, которая является одной из самых насыщенных и динамично развивающихся благодаря широкому внедрению микроэлектромеханических систем (MEMS). Например, в автомобилестроении, современная машина может содержать от 50 до 100 различных микросенсоров, и их количество растет с каждым годом.

Рассмотрим основные направления использования технологий микросенсорных систем и их принцип работы на примере устройств безопасности автомобиля. Здесь микросенсоры играют критическую роль: от них зависит жизнь водителя и пассажиров [1].

Фронтальные и боковые акселерометры. Это микроскопические кремниевые структуры с подвижной массой. При резком замедлении (ударе) инерция смещает эту массу, изменяется емкость между электродами, и электронный блок управления (ЭБУ) фиксирует превышение порога. За миллисекунды принимается решение о раскрытии подушек безопасности и натяжении ремней.

Датчик давления в шинах (TSMS). Миниатюрные MEMS-датчики давления (емкостного или пьезорезистивного типа) измеряют давление воздуха в шине каждые несколько секунд. Данные по радиоканалу передаются в блок приемника автомобиля. При падении давления ниже критического загорается индикатор на панели приборов.

Датчики угловой скорости (гироскопы) для ESP. Микромеханический гироскоп измеряет фактическое вращение автомобиля вокруг своей вертикальной оси. Если водитель начинает занос, то гироскоп фиксирует отклонение от траектории, и ESP подтормаживает отдельные колеса, возвращая машину под контроль. Без гироскопа ESP невозможна.

Датчик положения руля и угла поворота. Магнитные или оптические датчики на основе эффекта Холла определяют, на какой угол повернут руль. Эта информация вместе с данными гироскопа и акселерометра позволяет системе стабилизации точно понимать намерения водителя.

Датчик дождя и света. Оптический датчик дождя состоит из инфракрасного светодиода и фотоприемника. Когда капли дождя падают на стекло, часть света рассеивается, и фотоприемник фиксирует изменение сигнала – автоматически включаются дворники и регулируется их скорость. Датчик света на основе фотодиода определяет уровень освещенности и автоматически включает фары.

Датчик детонации. Это пьезоэлектрические акселерометры, настроенные на частоту вибрации, возникающую при детонационном сгорании (стук пальцев). Если датчик фиксирует детонацию, ЭБУ мгновенно корректирует угол опережения зажигания, чтобы предотвратить разрушение поршней [2].

Микросенсорные системы надежно зарекомендовали себя в устройствах безопасности автомобиля по следующим аспектам:

- Миниатюризация, так как сотню датчиков нужно разместить в ограниченном пространстве.
- Надежность, потому что они способны работать при температурах от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (и выше под капотом), выдерживая вибрации, удары, влагу и агрессивные среды (масло, топливо).
- Низкая стоимость, ввиду того, что MEMS производятся методами групповой обработки кремниевых пластин, как микросхемы, что позволяет получать миллионы датчиков по цене в несколько долларов за штуку.
- Низкое энергопотребление, что особенно важно, чтобы не нагружать бортовую сеть, особенно когда автомобиль неподвижен [3].

Литература

1. Виглеб, Г. Датчики: устройство и применение / Г. Виглеб. – 3-е изд. – Мн.: Мир, 1989. – 67 с.
2. Фрайден, Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден. – Мн.: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Бош, Р. Датчики: Автомобильный справочник / Р. Бош. – 3-е изд. – Мн.: 2012. – 560 с.

УДК 621.9.044

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ ПЛАВЛЕНИЯ И ИСПАРЕНИЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Студент гр. 11308125 Жолнерович А. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Лазерная обработка широко используется для модификации свойств различных материалов, в том числе металлов [1]. При этом важно знать плотности мощности лазерного излучения, при которых достигаются температуры плавления T_m или испарения T_v . В частности, достижение температуры плавления необходимо при использовании лазерного излучения в таких процессах,

как термоупрочнение, термообработка, лазерный отжиг, лазерная сварка и другие. До температур испарения необходимо нагреть материал при лазерной резке, лазерном сверлении отверстий, в хирургии и в реставрации художественных произведений [1].

В настоящей работе представлена программа для определения пороговых значений плотности мощности лазерного излучения для достижения температур плавления и испарения (кипения) некоторых металлов при импульсных лазерных воздействиях. Для определения данных порогов можно воспользоваться формулой [2]:

$$q(\tau) = \frac{(T - T_0)k\sqrt{\pi}}{2(1 - R)\sqrt{a\tau}}, \quad (1)$$

где τ – длительность импульса, T_0 – начальная температура, $T_0 = 293$ К, k – коэффициент теплопроводности, a – коэффициент температуропроводности, R – коэффициент отражения.

Разработана программа на Delphi, в которой задаются длительность импульса и теплофизические и оптические параметры металла. В таблице 1 приведены результаты вычислений для некоторых металлов при облучении лазерными импульсами различной длительности. При вычислении порога плавления q_m в формулу (1) подставлялась $T = T_m$, а при вычислении порога испарения q_v $T = T_v$. Вычисления проводились для параметров материалов, приведенных в [2], R соответствовал длине волны 1,06 мкм.

Программа составлена таким образом, что на основной вкладке вводится длительность лазерного импульса и из специального меню выбирается металл. Данные о теплофизических и оптических параметрах материала записаны в файл. Параметры металла можно считывать из файла, что существенно сокращает время работы пользователя. Программа позволяет добавлять металлы в файл данных, а также удалять ошибочные данные.

Таблица 1 – Пороги плавления и испарения для указанных материалов и длительностей импульса

	Длительность 10^{-3} с		Длительность 10^{-7} с		Длительность 5×10^{-6} с	
	q_m , Вт/см ²	q_v , Вт/см ²	q_m , Вт/см ²	q_v , Вт/см ²	q_m , Вт/см ²	q_v , Вт/см ²
Al	$6,16 \times 10^5$	$2,34 \times 10^6$	$6,16 \times 10^7$	$2,34 \times 10^8$	$8,72 \times 10^6$	$3,31 \times 10^7$
Au	$3,98 \times 10^6$	$1,02 \times 10^7$	$3,98 \times 10^8$	$1,02 \times 10^9$	$5,63 \times 10^7$	$1,45 \times 10^8$
Ni	$2,49 \times 10^5$	$4,83 \times 10^5$	$2,49 \times 10^7$	$4,83 \times 10^7$	$3,52 \times 10^6$	$6,84 \times 10^6$
Bi	$4,81 \times 10^3$	$2,95 \times 10^4$	$4,81 \times 10^5$	$2,95 \times 10^6$	$6,8 \times 10^4$	$4,17 \times 10^5$
W	$5,77 \times 10^5$	$9,47 \times 10^5$	$5,77 \times 10^7$	$9,47 \times 10^7$	$8,17 \times 10^6$	$1,34 \times 10^7$

Таким образом, разработана программа, которая позволяет определять пороговые значения плотности мощности лазерного излучения, необходимые для достижения температур плавления и испарения.

Литература

1. Вейко, В. П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Раздел: Введение в лазерные технологии / В. П. Вейко, А. А. Петров. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.
2. Вейко, В. П. Сборник задач по лазерным технологиям / В. П. Вейко, Е. А. Шахно. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 67 с.

УДК 537.3; 539.2

ОТЖИГ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТРАНСМУТАЦИОННО ЛЕГИРОВАННОМ КРЕМНИИ

Студент гр. 11308125 Жолнерович А. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Черный В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современная микроэлектроника предъявляет все возрастающие требования к однородности используемых материалов. Наилучшей степени однородности распределения легирующей примеси в кремнии удастся достичь, используя метод трансмутационного легирования [1–4]. Сущность метода заключается в следующем. Кремний, как известно, представляет собой смесь трех изотопов ^{28}Si , ^{29}Si , ^{30}Si . При облучении тепловыми нейтронами во взаимодействие с ними

активно вступает изот $^{30}_{14}\text{Si}$. В результате ядерной реакции $^{30}_{14}\text{Si} + {}^1_0n$ образуется нестабильный изотоп $^{31}_{14}\text{Si}$, который испытывает β^- -распад, превращаясь в стабильный изотоп фосфора $^{31}_{15}\text{P}$. Данный изотоп является донором.

Изотоп $^{30}_{14}\text{Si}$ распределен равномерно по объему кремния, что и обеспечивает высокую степень однородности легирования донорной примесью.

При облучении в канале ядерного реактора 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 p -типа проводимости.

В спектрах инфракрасного поглощения появляется ряд особенностей, связанных с радиационными дефектами.

Так, в области 1,8 мкм проявляются полосы дивакансий. В области 20,5 мкм появляется широкая полоса, связанная с процессами однофононного поглощения, запрещенными в необлученном кремнии. В области вблизи края фундаментального поглощения появляется полоса неселективного поглощения, интенсивность которого монотонно растет с ростом энергии фотонов. В материалах, полученных методом Чохральского, появляется узкая полоса 835 см^{-1} , обусловленная комплексами кислород – вакансия (так называемыми А-центрами).

Для удаления радиационных дефектов производится их отжиг. На первой стадии 150°C – 250°C происходит отжиг дивакансий, исчезает полоса 1,8 мкм. При этом также отжигается около 90 % однофононного и околосредового поглощения, что говорит о преобладающей роли дивакансий в формировании этих механизмов поглощения.

Оставшиеся дефекты, формирующие 10 % интенсивности поглощения, являются более сложными и термически более устойчивыми радиационными дефектами. Они постепенно отжигаются в интервале температур 275°C – 400°C . Данные дефекты формируются нейтронами с энергиями, значительно превышающими энергию тепловых нейтронов. В этом же интервале происходит и отжиг А-центров.

Однако по спектрам ИК-поглощения в околосредовой области спектра еще проявляются термически более стойкие радиационные дефекты, исчезающие при отжиге в области 600°C – 650°C . При этом происходит p - n конверсия типа проводимости, а при достаточно высоком уровне радиационного легирования проявляется поглощение на свободных носителях – электронах. Обработанный таким образом кремний готов к использованию в технологических процессах.

Литература

1. Вопросы радиационной технологии полупроводников / под ред. Л. С. Смирнова. – Новосибирск: Наука, 1980. – 291 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 ред. Л. С. Смирнова. – Новосибирск: Наука, 1977. – 256 с.
4. Харченко, В. А. Радиационное легирование кремния / В. А. Харченко, С. П. Соловьев // Физика и техника полупроводников. – 1971. – Т. 5, № 8. – С. 1641–1643.

УДК 681.586

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ NV-ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ ДЛЯ КВАНТОВОЙ СЕНСОРИКИ (ОБЗОР)

Студент гр. 11304125 Затыгин В. Д.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В последние десятилетия наблюдается стремительный рост интереса к квантовым сенсорам. Среди них особое место занимают азотно-вакансионные (NV) центры в кристаллической решетке алмаза. Их уникальная особенность заключается в возможности работы при комнатной температуре, в то время как многие квантовые системы требуют глубокого охлаждения [1]. Это открывает широкие перспективы для создания компактных и высокочувствительных датчиков магнитного поля, температуры и давления.

Физический принцип работы NV-центра основан на его спиновых состояниях. Под воздействием лазерного излучения центр переходит в возбужденное состояние, а интенсивность его

флуоресценции зависит от спинового состояния, которое, в свою очередь, чувствительно к внешним магнитным полям. Этот эффект, известный как оптически детектируемый магнитный резонанс (ODMR), позволяет с высокой точностью измерять параметры окружающей среды [2].

Важным этапом является технология создания NV-центров. Одним из основных методов является ионная имплантация, при которой в алмаз внедряются ионы азота с последующим высокотемпературным отжигом. Как показано в работе Хорунжего И. А. с соавторами, процесс имплантации неизбежно вызывает внутренние напряжения в кристалле, которые необходимо учитывать при проектировании сенсоров [3]. Контроль исходной концентрации азота в алмазе, например, методом оптического поглощения, как в работе Шенец А. С., является критически важным для получения центров с заданными свойствами [4].

Спектр применения NV-сенсоров чрезвычайно широк. Кроме того, ведутся разработки вибрационных датчиков на базе модифицированного алмаза для диагностики состояния квантовых компьютеров [5].

Таким образом, NV-центры в алмазе представляют собой одну из наиболее перспективных платформ для развития современной сенсорики. В Беларуси, в частности в Институте физики НАН и БНТУ, ведутся активные исследования в этой области, что создает хорошую базу для подготовки специалистов по данному направлению.

Литература

1. The nitrogen-vacancy colour centre in diamond / M. W. Doherty, N. B. Manson, P. Delaney [et al.] // *Physics Reports*. – 2013. – Vol. 528, № 1. – P. 1–45.
2. Низовцев, А. П. Одиночные NV центры в наноструктурированном алмазе: моделирование электронных и спиновых характеристик / А. П. Низовцев [и др.] // *Физика, химия и механика поверхности*. – Мн.: Белорусская наука, 2012. – С. 185–191.
3. Хорунжий, И. А. Расчет напряжений в алмазе, имплантированном ионами высоких энергий / И. А. Хорунжий [и др.] // *Материалы конференции*. – Мн.: БНТУ, 2021. – С. 12–15.
4. Шенец, А. С. Определение концентрации примеси азота в синтетическом алмазе методом оптического поглощения / А. С. Шенец // *Новые направления развития приборостроения*. – Мн.: БНТУ, 2022. – С. 185.
5. Дианов, С. В. Разработка тензочувствительного элемента на базе модифицированного алмаза для квантового компьютера / С. В. Дианов, В. М. Новичков // *Автоматизация. Современные технологии*. – 2024. – № 4. – С. 15–20.

УДК 544.58

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛИЗА ВОДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД

Студент гр. 11310124 Камейко А. С.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной работы – изучить процессы радиохимии. В работе проведен обзор литературных данных в области радиохимических исследований. Особое внимание уделено изучению процесса радиолиза, его особенностям, проанализированы факторы, которые оказывают влияние на эффективность процесса.

При воздействии излучения на воду в процессе радиолиза формируются химически-активные частицы. В результате в структуре происходят макроизменения, связанные с влиянием облучения. Такие макроизменения являются следствием реакций между активированными частицами (молекулами, ионами) и радикалами. Изменения проявляются в виде образования радиолитических газов, пероксида водорода. Также происходят окислительно-восстановительные реакции с участием растворенных веществ. При процессе радиолиза воды можно выделить три временные стадии. На рис. 1 представлен упрощенный процесс радиолиза воды с выделением продуктов [1].

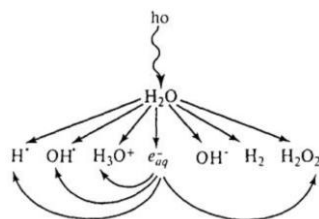


Рис. 1. Продукты радиолиза воды

Радиолиз воды имеет значительное практическое значение, поскольку образующиеся активные частицы эффективно разлагают широкий спектр загрязняющих веществ. Наиболее перспективные направления радиолиза для очистки водных растворов включают:

– Уничтожение токсичных отходов. Современные исследования показывают, что обработка воды пучком ускоренных электронов эффективно разлагает такие опасные вещества, как компоненты взрывчатки (тротил и гексоген). Радиолиз запускает процессы денитрования и окисления, превращая яды в безопасные соединения и делая воду пригодной для дальнейшей биологической очистки [2].

– Борьбу с фенолами. Недавние эксперименты демонстрируют, что присутствие гуминовых веществ в воде может увеличить эффективность разложения фенола под действием электронного пучка в 2,6 раза. Это открывает новые возможности для очистки природных и сточных вод [3].

– Очистку сточных вод. Существуют патенты и разработки, предлагающие комбинированные методы. Например, сточные воды сначала облучают, чтобы разложить сложные недиссоциирующие молекулы на более простые, а затем доочищают с помощью электролиза со смолами. Это позволяет снизить энергозатраты и добиться полной очистки [4].

Литература

1. Ким, Д. О. Радиационная химия в ядерном топливном цикле. Глава 5. Радиолиз воды: общие положения / Д. О. Ким, А. В. Кабакчи // Химический факультет МГУ. – Москва, 1999–2025.

2. Ким, Ю. Электронно-лучевая очистка воды от 2,4,6-тринитротолуола и гексогидро-1,3,5-тринитро-1,3,5-триазина / Ю. Ким, А. В. Пономарев, Б. Г. Ершов // Химия высоких энергий. – 2020. – № 5. – С. 394–398.

УДК 541

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Студент гр. 11310124 Кайрис А. А.

Кандидат тех. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной работы – анализ теоретических основ генерации и измерения сверхвысоких температур (СВТ). Проведен обзор литературы, рассмотрены физико-химические принципы получения экстремальных температур и методы их измерения.

Подробно изучены основы генерации СВТ. Рассмотрены методы измерения СВТ. Контактные методы представлены вольфрам-рениевыми термопарами (до 2 500 °С), работающими на эффекте Зеебека. Бесконтактные методы базируются на законах теплового излучения. Спектральная пирометрия определяет температуру без знания излучательной способности поверхности.

По результатам анализа литературных источников по измерениям температур измерения разработана блок-схема (рис. 1).

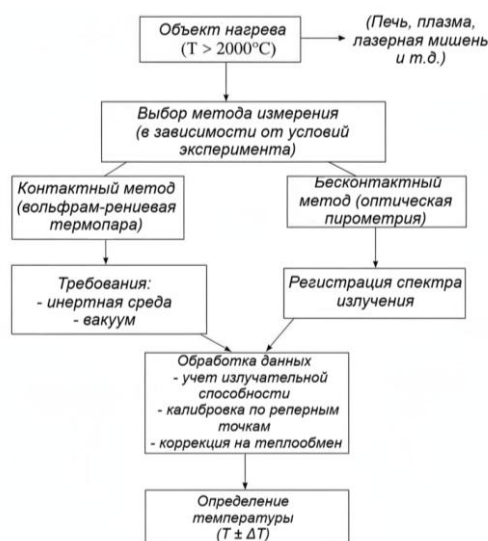


Рис. 1. Блок-схема процесса измерения сверхвысоких температур

Область применения: контроль технологических процессов в плазменной металлургии, синтез тугоплавких соединений (карбидов, нитридов), исследования поведения материалов в экстремальных условиях.

Литература

1. Блохин, А. В. Экспериментальные методы физической химии. Раздел 1. Основы термодинамики. Часть 1. Термометрия / А. В. Блохин. – Мн.: БГУ, 2006. – 50 с.

УДК 541

ТЕРМОДИНАМИКА ОБРАЗОВАНИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Студент гр. 11310124 Крошаков И. Д.

Кандидат тех. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной работы - познакомиться с понятием жидкие кристаллы и рассмотреть ключевые особенности каждого типа. В работе приведен обзор литературы, особое внимание уделено изучению свойств жидких кристаллов и области применения.

Жидкие кристаллы представляют собой особое состояние вещества, которое занимает промежуточное положение между твердым кристаллом и обычной жидкостью. Или, проще говоря они текучи, как жидкость, но при всем этом они имеют упорядоченную кристаллическую решетку, как у кристалла.

Если жидкие кристаллы получают в результате термовоздействия, то они называются термотропными. Также в работе были изучены лиотропные жидкие кристаллы, которые образуются при растворении соединений в растворителях. Такие жидкие кристаллы имеют более сложную структуру.

Выделяют три основных типа жидких кристаллов в зависимости от расположения молекул: смектические, нематические и холестерические. Рассмотрим ключевые особенности каждого из этих типов. У нематических это ориентация молекул в одном направлении, то есть имеют параллельную ориентацию. У смектических молекулы формируют слоистую структуру, сохраняя параллельную ориентацию, внутри слоев. У холестерических же ориентация молекул закручена в спираль.

Модель трех основных типов жидких кристаллов представлена на рис. 1.



Рис. 1. Модели основных типов жидких кристаллов

Преимущества жидких кристаллов.

Анизотропия – их оптические, электрические и механические характеристики зависят от направления измерения, благодаря чему ими можно управлять, что характерно для кристаллических веществ

Чувствительность к внешним воздействиям, текучесть, что свойственно жидким фазам.

По природе жидкие кристаллы чаще органические вещества, что позволяет им работать в диапазоне температур от -20 до 400 °С.

Область применения: жидкие кристаллы применяют в электронике для производства дисплеев, оптика и фотоника, сенсоры и индикаторы, энергетика, медицина и биология.

Литература

1. Блинов, Л. М. Жидкие кристаллы: структура и свойства / Л. М. Блинов. – М.: Либроком, 2018. – 392 с.

УДК 621

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИТАЛЛОВ

Студент гр. 11310124 Крошаков И. Д

Кандидат тех. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной работы – познакомиться с понятием ситаллы и рассмотреть технологию их изготовления. В работе приведен обзор литературы, особое внимание уделено изучению технологии получения ситаллов и области применения.

Ситаллы – это особые материалы, которые получают путем контролируемой кристаллизации стекла при специальной термообработке. При нагреве внутри стекла образуется множество мелких кристаллов. В результате получается структура, где сочетаются свойства стекла и керамики.

Получают ситаллы следующим путем: сначала идет процесс подготовки стекла, в его состав вводят специальные вещества – нуклеаторы, способные вызывать кристаллизацию. Далее идет процесс формования, изделие изготавливают как обычное стекло – литьем или прессованием. Затем идет термообработка, при нагреве сначала образуются центры кристаллизации, после кристаллы равномерно распределяются по всему объему.

В результате у нас получается материал, где стекловидная матрица содержит значительную долю кристаллической фазы.

По результатам анализа технологии получения ситаллов, представлена схема контролируемой кристаллизации стекла (рис. 1).

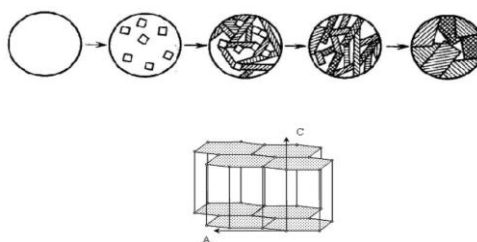


Рис. 1. Схема контролируемой кристаллизации стекла

Основные преимущества ситаллов: высокая прочность и твердость, устойчивость к высоким температурам и резким перепадам, химическая стойкость к кислотам, щелочам и другим агрессивным средам, низкий коэффициент теплового расширения.

Применение ситаллов: астрономическая оптика, ракетная и космическая техника (обтекалки и антенны), электроника (подложки микросхем), химическая промышленность (аппаратура, устойчивая к агрессивным средам), строительство, ювелирное дело.

Литература

1. Блок, Г. Э. Ситаллы / Г. Э. Блок. – М.: Знание, 1963. – 64 с.

УДК 681

ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА ЭЛЕКТРОМИГРАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРОВОДНИКАХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

Студенты гр. 11310122 Кузнецова Д. И., Горанов И. Г., Назарчук К. А.

Ст. преподаватель Люцко К. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Исследование роста электромиграционных дефектов в проводниках печатных плат, работающих в условиях повышенной влажности, посвящено актуальной проблеме обеспечения надежности микроэлектроники. Печатная плата (ПП) – это диэлектрическое основание, на котором сформированы тонкие медные проводящие дорожки для электрического и механического монтажа компонентов.

Актуальность темы обусловлена широким внедрением электронных устройств в среду с неконтролируемой влажностью: автомобильную электронику, наружные датчики Интернета вещей и портативную медицинскую технику. Миниатюризация и рост плотности монтажа приводят

к уменьшению зазоров между проводниками и увеличению плотности тока, что в разы повышает риск возникновения электромиграции. Этот процесс заключается в направленном переносе ионов металла под действием электрического тока. В сухой среде он протекает крайне медленно, но наличие даже тонкой пленки влаги или конденсата катализирует его, превращая в электрохимическую реакцию.

Суть исследования заключается в системном анализе механизма одного из самых коварных и скрытых видов отказа современной микроэлектроники – влагоиндуцированного роста токопроводящих дендритов внутри, казалось бы, герметичных корпусов. Явление возникает на стыке трех факторов: неизбежного наличия микроскопических остатков флюса или гигроскопических загрязнений на поверхности платы после сборки, следовой влаги, проникающей сквозь полимерные оболочки или сорбируемой из воздуха при перепадах температур, и постоянного электрического потенциала между соседними проводниками. Ионы металла, чаще всего меди из дорожек или серебра из пасты, в присутствии даже ничтожной влажной пленки переходят в электролит и под действием электростатического поля начинают дрейфовать к противоположно заряженному электроду, где кристаллизуются в виде древовидных структур. Эти структуры, растущие как от катода, так и от анода, со временем смыкаются, создавая проводящий мостик, что приводит сначала к паразитным утечкам тока, затем – к полному короткому замыканию и тепловому разрушению узла. Особую опасность процесс представляет для миниатюрной электроники с зазорами менее 100 микрон, где для образования мостика требуется всего несколько микрон роста дендрита, и для устройств, работающих в режиме длительного ожидания под низким, но постоянным напряжением, которое достаточно для миграции ионов, но не для срабатывания защитных предохранителей [1].

Основной вывод исследования заключается в том, что повышенная влажность (свыше 85 %) является критическим фактором, катализирующим электромиграцию и рост проводящих дендритов между соседними проводниками на печатной плате даже при стандартных рабочих напряжениях. Образующаяся влажная пленка создает условия для электрохимического переноса ионов металла, что приводит к постепенному формированию металлических мостиков, коротким замыканиям и отказам устройств. Наиболее уязвимы платы с малыми зазорами (менее 100 мкм) и неидеальными защитными покрытиями. Следовательно, для обеспечения надежности электроники, работающей во влажной среде, необходимы специальные меры на этапе проектирования: ужесточение требований к минимальным зазорам в критичных цепях, тщательный выбор и контроль качества финишных покрытий проводников, а также проведение валидационных испытаний, моделирующих совместное воздействие постоянного напряжения и конденсированной влаги [2].

Литература

1. Валитов, Р. А. Электромиграция в тонких металлических пленках и проводниках микроэлектронных устройств / Р. А. Валитов, А. М. Гришин. – М.: Техносфера, 2018. – 312 с.
2. Петров, Н. В. Надежность печатных узлов в условиях воздействия климатических факторов: моделирование и испытания / Н. В. Петров, А. С. Семенов // Электронная техника. Серия 6: Материалы. – 2021. – № 3 (58). – С. 45–56.

УДК 681

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АДДИТИВНЫХ И СУБТРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Студент группы 11310122 Кузнецова Д. И.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является сопоставление двух различных способов получения топологии проводников – субтрактивного (основанного на удалении лишних участков металла) и аддитивного (базирующегося на избирательном осаждении проводящего материала) применительно к условиям мелкосерийного и лабораторного производства многослойных печатных плат.

Современная микроэлектроника предъявляет жесткие требования к оперативности изготовления опытных партий многослойных печатных плат (МПП). Основным технологическим вызовом при прототипировании является обеспечение высокой разрешающей способности проводящего рисунка при минимальных временных и материальных затратах. В связи с этим возникает

необходимость объективной оценки эффективности классических и альтернативных подходов к созданию токоведущих дорожек [1].

Субтрактивная методика предполагает использование фольгированных диэлектриков. Формирование проводников здесь происходит за счет химического травления незащищенных областей медного слоя. Данный процесс отличается высокой стабильностью и хорошей адгезией получаемых элементов к основанию, что делает его стандартом для серийного выпуска плат из материала FR-4. Однако, как показывает практика, при переходе к классам точности выше третьего проявляются такие недостатки, как неизбежное боковое подтравливание, искажающее профиль дорожки, и сложность утилизации отработанных травильных растворов [2].

В противоположность этому, аддитивные технологии, предлагают создание проводников путем их прямого «выращивания» на диэлектрике. Для многослойных структур это может быть реализовано либо через химико-гальваническое осаждение меди в окна маски (полуаддитивный вариант), либо через печать токопроводящими композициями на основе наночастиц (аддитивный вариант). Ключевым преимуществом является возможность получать элементы шириной до 30 мкм без эффекта подтравливания, а также значительное сокращение числа «мокрых» химических операций. Основной проблемой остается обеспечение надежного сцепления печатного проводника с подложкой и его электропроводности, сравнимой с объемной медью [3].

Таблица 1 – Сравнительные данные

Параметр сравнения	Субтрактивная технология	Аддитивная технология
Предел разрешения по ширине	50–70 мкм (ограничен фактором подтравки)	30–50 мкм (зависит от дисперсности пасты/режимов осаждения)
Экологическая безопасность	Низкая (образование стоков солей меди хлоридов)	Высокая (минимальный расход реагентов, отсутствие травителей)
Прочность сцепления с базой	Высокая (обеспечена химией процесса)	Требует строгого контроля пост-обработки

Проведенный анализ свидетельствует, что для задач прототипирования аддитивные методы имеют ряд преимуществ перед субтрактивными, особенно в части достижения высокой плотности трассировки и экологичности производства. Тем не менее, субтрактивная технология остается востребованной благодаря своей технологической надежности и обширной производственной базе. Рациональным видится применение комбинированных схем, где внутренние слои питания выполняются травлением, а внешние высокоплотные сигнальные слои – аддитивным способом.

Литература

1. Кечиев, Л. Н. Практическое руководство по конструированию многослойных печатных плат: инженерное пособие / Л. Н. Кечиев. – М.: Грифон, 2021. – 414 с.
2. Ильин, В. А. Технология изготовления печатных плат / В. А. Ильин. – Ленинград: Машиностроение, 1984. – 77 с.
3. Туев, В. И. Аддитивные технологии производства устройств радиоэлектроники: учебное пособие / В. И. Туев. – Томск: ТУСУР, 2020. – 90 с.

УДК 621

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОЗЕФСОНА В КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРАХ

Студент гр. 11310223 Лазоренко К. П.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Сернов С. П.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Джозефсоновские переходы играют ключевую роль в создании кубитов – квантовых аналогов битов. Кубиты на основе джозефсоновских переходов обладают свойствами квантовой суперпозиции и квантовой запутанности. В отличие от классического бита, который принимает одно из двух возможных состояний, квантовый бит находится в суперпозиции состояний от $|0\rangle$ до $|1\rangle$. Запутанность кубитов – это зависимость состояния каждого кубита системы от состояния всех прочих кубитов системы.

Джозефсоновский переход в сверхпроводящем кубите контролирует частоту перехода ω_{01} . В устройстве с одним переходом энергия Джозефсона фиксируется на этапе изготовления, при использовании двух джозефсоновских переходов в конфигурации SQUID, можно добиться регулируемой энергии Джозефсона, что позволит настраивать различные параметры кубита во время эксперимента. SQUID работает как единый переход с эффективной энергией Джозефсона, которая является функцией внешнего магнитного потока через петлю SQUID:

$$E_{j,eff} = (E_{j,1} + E_{j,2}) \cos\left(\frac{\pi\Phi_{ext}}{\Phi_0}\right) \sqrt{1 + d^2 \tan^2\left(\frac{\pi\Phi_{ext}}{\Phi_0}\right)}, \quad (1)$$

где $E_{j,n}$ – Энергия Джозефсона на переходе n , Φ_{ext} – внешний магнитный поток, Φ_0 – квант потока и d – мера асимметрии соединения.

Существует три основных конструкции кубитов на основе джозефсоновских переходов (рис. 1). Они известны как зарядовый кубит (рис. 1, *a*), кубит потока (рис. 1, *b*) и фазовый кубит (рис. 1, *c*). Зарядовый кубит представляет собой коробку для заряда, управляемую внешним напряжением V_g ; кубит потока – петля, управляемая внешним магнитным потоком Φ_{ext} ; фазовый кубит – джозефсоновский переход, смещенный током I_b . [1]

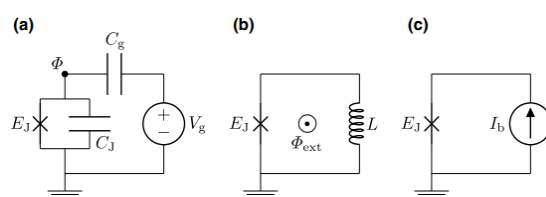


Рис. 1. Три основные схемы кубитов на основе джозефсоновских переходов [1]:
a – зарядовый кубит; *b* – кубит потока; *c* – фазовый кубит. Для простоты емкость C_J показана только на панели (*a*), хотя она также присутствует в схемах на панелях (*b*) и (*c*)

Параметрические усилители Джозефсона являются ключевыми компонентами в квантовой обработке информации благодаря своей способности усиливать слабые квантовые сигналы с уровнем шума, близким к квантовому пределу. Это крайне важно для точного считывания кубитов. Они используют нелинейную индуктивность джозефсоновского перехода для параметрического усиления [2].

Джозефсоновские переходы с ферромагнитными барьерами (SIS'FS -переходы) позволяют создавать энергонезависимую память и перестраиваемые элементы управления прямо в криостате. Это дает возможность быстрее и эффективнее управлять кубитами [3].

Литература

1. Kockum, A. F. Quantum Bits with Josephson Junctions / A. F. Kockum, F. Nori // Fundamentals and Frontiers of the Josephson Effect / ed. by F. Tafuri. – Cham: Springer, 2019. – P. 703–741.
2. Technical Review on RF-Amplifiers for Quantum Computer Circuits: New Architectures of Josephson Parametric Amplifier / A. Salmanoğlu, H. Zandi, M. Esmaili [et al.]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2507.13187> (date of access: 22.02.2026).
3. Magnetic Josephson Junctions with Superconducting Interlayer for Cryogenic Memory / I. V. Vernik, V. V. Bol'ginov, S. V. Bakurskiy [et al.]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1212.0815> (date of access: 22.02.2026).

УДК 681.1.62-4

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАБОТКЕ КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Студент гр. 11310124 Луданик Д. Ю.

Кандидат техн. наук, доцент Реутская О. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

При лазерной обработке кремния возникают дефекты и сопутствующие явления: образование оксидов и оксидной пленки при нагревании поверхности материала; накопление загрязнений, что в дальнейшем может привести к экранированию лазерного излучения; возникновение термических напряжений, приводящие к образованию микротрещин, изменению механических

свойств, что, в свою очередь, влияет на его твердость и прочность; снижение электрических характеристик, такие как подвижность носителей заряда и концентрация дефектов.

Наиболее перспективным подходом к обработке кремниевых подложек является импульсное воздействие, поскольку оно позволяет существенно сократить продолжительность термической обработки. Оптимальными для реализации данного метода являются низкоэнергетические частицы, которые при взаимодействии с твердым телом инициируют тепловыделение за счет возбуждения и последующей релаксации электронной подсистемы, индуцированной фотонным или электронным облучением.

Эффективность импульсной обработки кремниевых структур определяется, в частности, длительностью лазерного импульса. В зависимости от ее значения метод может быть применен как для удаления загрязнений и примесей, так и для формирования геттерирующего слоя, способствующего последующей очистке материала.

При воздействии лазерного импульса с длительностью 10–30 нс на границе фаз жидкость-кристалл в кремнии могут возникать значительные термические напряжения, что необходимо учитывать при выборе режимов обработки [1].

На рис. 1 представлены результаты реза кремниевой пластины КЭС (100) на установке лазерной обработки «Турбоформа РА» при скорости обработки 400 мм/с и частоте 5 кГц. Ширина получившегося реза составляет 40 мкм.

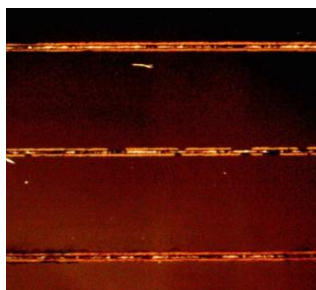


Рис. 1. Результаты лазерного скрайбирования на кремниевой подложке

Применение современных методик импульсной обработки поверхности кремния позволяет существенно снизить долю дефектных элементов, не пригодных к дальнейшему технологическому использованию, тем самым повышая общую эффективность производственного процесса. Кроме того, отмечается улучшение электрофизических характеристик материала, включая повышение электропроводности, а также увеличение точности и качества процессов фотолитографии.

Литература

1. Абляция твердого тела под действием сверхкоротких лазерных импульсов: исследование методами молекулярной динамики / Д. С. Иванов, В. П. Вейко, Е. Б. Яковлев [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 5 (93). – С. 23–31.

УДК 681

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Студент гр. 11310223 Мисюк А. Ю

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной научной работы является изучение технологического процесса получения дисперсно-упрочненных композитных материалов на основе алюминия, оксида алюминия, нитрида алюминия, карбида кремния. В работе проведен обзор литературы, включающий следующие разделы: классификация композиционных материалов по матрице и наполнителю, основные свойства и структура различных композитов. Особое внимание было уделено изучению и сравнительному анализу методов получения с целью их применения в микро- и нанoeлектронике.

В работе изучен технологический процесс получения композитов методом искрового плазменного спекания. Для улучшения структуры при подготовке шиты использовался метод высокoэнергетической обработки исходных материалов (порошков) [1].

Подробно изучены методы контроля композиционных материалов и соновые виды деэктов. Также проанализированы физико-химические факторы, которые оказывают значительное влияние на качество материала.

По результатам анализа разработана технологическая схема (рис. 1).

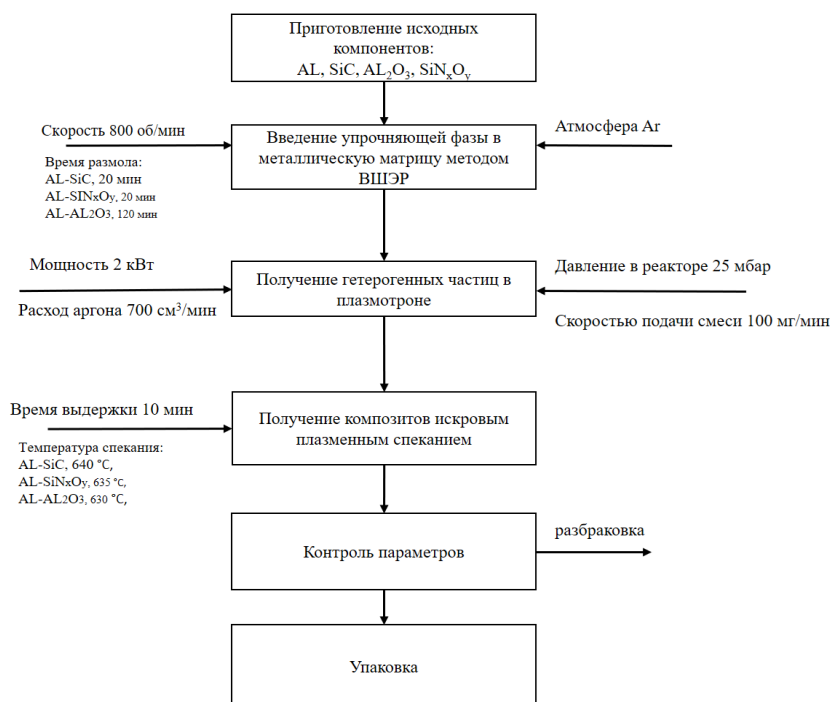


Рис. 1. Технологическая схема получения дисперсно-упрочненных композитных материалов

Область применения: изделия из дисперсно-упрочненных композитных материалов могут применяться в космической, авиационной промышленности, а также в приборостроении.

Литература

1. Кутжанов, М. К. Изучение механических свойств композиционных материалов на основе алюминия, упрочненных наночастицами карбида кремния / М. К. Кутжанов, Д. В. Штанский, А. Т. Матвеев // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 14-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию порошковой металлургии Беларуси, 9–11 сентября 2020 г., Минск / редкол.: А. Ф. Ильющенко [и др.]. – Мн.: Белорусская наука, 2020. – С. 229–330.

УДК 621.3.049.77

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ АЭРОГЕЛЕЙ КАК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Студент гр. 11310123 Мычко В. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В работе проведен обзор методов производства и основных характеристик аэрогелей. Аэрогели – класс материалов, представляющих собой гель, в котором жидкая фаза полностью замещена газообразной, вследствие чего вещество обладает рекордно низкой плотностью, всего в полтора раза превосходящей плотность воздуха, и рядом других уникальных качеств: твердостью, прозрачностью, жаропрочностью, чрезвычайно низкой теплопроводностью и отсутствием водопоглощения [1].

В аккумуляторах углеродный аэрогель предполагается использовать в качестве анода. Образующиеся в материале макропоры выступают в качестве резервуаров заряда в процессе зарядки и разрядки, что повышает емкость аккумулятора без изменения его линейных размеров. Стоит отметить, что, хорошая пористая структура способствует низкому контактному сопротивлению и низкому ионному сопротивлению соответственно.

Получение аэрогеля включает этапы приготовления целлюлозных адсорбентов лигнин (L) растворяли в воде с добавлением NaOH. Затем суспензию (2 мас. %) добавляли в раствор лигнина в необходимом количестве для приготовления суспензий L/CNF поддерживая соотношение L к CNF равным 75/25 во всех суспензиях. При этом сохраняется наличие углеродных нановолокон для получения жертвенного шаблона. Шаблон формируется методом темплатирования, то есть суспензия L/CNF заливается тефлоновую форму, закрепленную на верхней части медного стержня и поддержания градиента температур путем опуская нижний конца стержня в ванну с жидким азотом, при этом скорость охлаждения в процессе формирования ледяного шаблона контролировалась (10; 7,5 и 5 К/мин) с помощью регулятора температуры, подключенного к верхней части медного стержня. Имеет смысл подчеркнуть, что при 7,5 К/мин в углеродной структуре было содержание мезопор больше, приблизительно 30 %, по сравнению с почти 12 % при 10 К/мин, с помощью чего и достигается высокие электрохимические характеристики.

Благодаря разнице температур между верхним и нижним концами суспензии в тефлоновой форме получают однонаправленное замораживание. В конце проводилась лиофилизация на лиофилизаторе Martin Christ α 1-2 LD plus при давлении 1 мбар в течение 72 часов при температуре 30 °С. Для карбонизации аэрогелей L/CNF в углеродные материалы использовали горизонтальную трубчатую печь Nabertherm RHTC-230/15. Процесс карбонизации проходил в два этапа, сначала L/CNF выдерживалась при температуре 400 °С потом – при 1000 °С. Температура в 1000 °С подходит для получения стабильных углеродных аэрогелей с требуемыми электрохимическими характеристиками, выдержка материала при более высокой температуре привели бы к образованию упорядоченного, частично графитового и гидрофобного углерода, который не смачивается электролитом [2].

Для электрохимического анализа углеродного аэрогеля использовался гальваностат Princeton Applied Research VerstaSTAT 3, соединенный с трехэлектродной ячейкой. В качестве противоэлектрода использовалась платина, а в качестве электрода сравнения – Ag/AgCl. В качестве электролита использовалась 1 М серная кислота (H₂SO₄). Измерения циклической вольтамперометрии проводились при различных скоростях сканирования в диапазоне от 2 до 100 мВ·с⁻¹ в диапазоне напряжений 0–1 В [3].

Электрод, полученный с использованием этого аэрогеля, показал превосходные электрохимические характеристики с удельной емкостью 410 Ф·г⁻¹ при 2 мВ·с⁻¹ и циклической стабильностью 94 % после 4 500 циклов заряда-разряда [2].

Литература

1. Общая информация об Аэрогеле // Aerogel-russia.ru. – URL: <http://www.aerogel-russia.ru/info/about> (дата обращения: 10.02.2026).
2. Ice-Templating of Lignin and Cellulose Nanofiber-Based Carbon Aerogels: Implications for Energy Storage Applications // ACS Applied Nano Materials. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsnm.2c01033> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Bio-Based Aerogels in Energy Storage Systems // Gels. – 2024. – Vol. 10, № 7. – P. 438.

УДК 621.3.049.77

МЯГКИЕ АКТУАТОРЫ

Студент гр. 11310123 Мычко В. А.

Кандидат техн. наук, доцент Лапицкая В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Мягкие актуаторы – устройства на основе гидрогеля с анизотропными структурами/компонентами, которые могут выполнять движения схожие с биологическими с высокой скоростью отклика под воздействием внешних факторов либо насосов. Основные методы для создания движения являются пневматические и гидравлические приводы. Используется безнасосный тип создание гидравлического давления внутри системы возникает из-за воздействия магнитным или электрическим полем. Преимущество метода является то, что не требуется наличие пневматических трубок, соединенных с насосами и жидкостными камерами, что делает систему более компактной.

Также существует гибкое термоэлектрическое устройство, которое использует для инициирования надувания пневматической камеры методом перехода жидкость – пар и, таким образом возникает имитация движений дождевого червя. Термоэлектрическое устройство имеет

желаемые свойства для пневматических актуаторов, поскольку оно может как охлаждать, так и нагревать с помощью одной конструкции устройства, что предполагает возможность ускорения как переходов жидкость – пар, так и переходов пар – жидкость [1].

Актуаторы управляемые электрическим полем. Работают по принципу: постоянный или индуцированный дипольный момент в электрически заряженных компонентах может быть упорядочен вдоль приложенного электрического поля. Распределение электрически заряженных компонентов может влиять на пористую структуру или плотность сшивания гидрогелей. По принципу миграции катионных сшивающих агентов и индуцированного электрического поля, для создания градиентных ионогелей. Под действием внешнего электрического поля внутри формы между катодом и анодом формируется градиент концентрации заряженных сшивающих агентов, после чего происходит процесс гидрогелеобразования для стабилизации градиентной структуры. Также, для программирования распределения электрического поля можно использовать множественные или микроструктурированные электроды, позволяющие точно контролировать электрически заряженные компоненты в тонких гидрогелевых листах для формирования иерархических структур. Под воздействием постоянного электрического поля появляется эффект электрофореза, который позволяет добиться градиентного распределения наноллистов MXene по толщине гидрогелевых актуаторов. Однако приложенные электрические поля без оптимизации могут вызывать вредные электрохимические разложения и электрофорез в процессе приготовления гидрогеля [2].

Кроме выше указанного управление актуатором может осуществляется с помощью магнитного поля. В конструкции используется диафрагма, сформированная из единой формы, которая намагничивается радиально, что позволяет осуществлять значительные двунаправленные и трехмерные деформации при воздействии слабого однородного магнитного поля.

На основе мягких актуаторов изготавливают гибкие захваты, которые обычно состоят из трех или более приводных пальцев для захвата или манипуляций. Под воздействием внешних сил происходит захват схожий с сжатием ладони.

К тому же создаются полоскообразные модели роботов, проектируемые за счет контроля асимметричной формы и контактного трения между компонентами. Они широко применялись в качестве шагающих или ползающих роботов благодаря простоте реализации многократного изгиба-разгибания или растяжения-сокращения под воздействием циклических стимулов. Обычно для облегчения направленного движения шагающих роботов на основе гидрогеля применялись специальные подложки с шероховатой или храповой структурой.

Для некоторых манипуляций требуются прыгающие устройства. В них механизм преобразования энергии, подобен катапульте, результатом чего потенциальная энергия накапливается в упругих частях механизма, после чего эта энергия быстро высвобождается для завершения прыжка.

Литература

1. Rich, S. I. Untethered soft actuators for soft standalone robotics / S. I. Rich, R. J. Wood, C. Majidi // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15. – Art. 3510.
2. Bio-inspired anisotropic hydrogels and their applications in soft actuators and robots // Matter. – URL: [https://www.cell.com/matter/fulltext/S2590-2385\(23\)00418-6](https://www.cell.com/matter/fulltext/S2590-2385(23)00418-6) (дата обращения: 20.02.2026).

УДК 621

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Студент гр. 11310223 Надумович Н. А.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение особенностей технологического процесса композитов для суперконденсаторов.

В работе проведен обзор литературных источников в области получения данных материалов. Подробно изучена классификация композиционных материалов. В основе классификации – тип матрицы (металлическая, керамическая, полимерная) и тип наполнителя. Проанализированы классические и перспективные методы получения композитов. В обзоре литературы уделено внимание принципу действия суперконденсаторов и области их применения.

Подробно изучен метод получения – пиролиз. Синтез такого композитного материала состоит из нескольких этапов. Первым этапом является осаждение МУНТ (активный компонент,

обладающий высокой электропроводностью и удельной поверхностью) на подложке алюминия (используется как подложка, обладающая высокой теплопроводностью и стабильностью при термообработке) методом пиролиза. В результате образуется структура МУНТ/АІ, где нанотрубки равномерно распределены по поверхности фольги.

Следующим этапом выполняется электрохимическое окисление структуры в простейшей ячейке (анод/катод), что активирует поверхность нанотрубок. Окисленные МУНТ/АІ помещали в раствор KMnO_4 (источник марганца) для формирования композитного материала MnO_2 /МУНТ/АІ.

Для получения композитного материала FeOx /МУНТ/АІ получали методом электрохимического окисления МУНТ/АІ двухэлектродной ячейке и их помещением в трехэлектродную ячейку [1].

По результатам изучения и анализа технологического процесса была разработана технологическая схема (рис. 1).

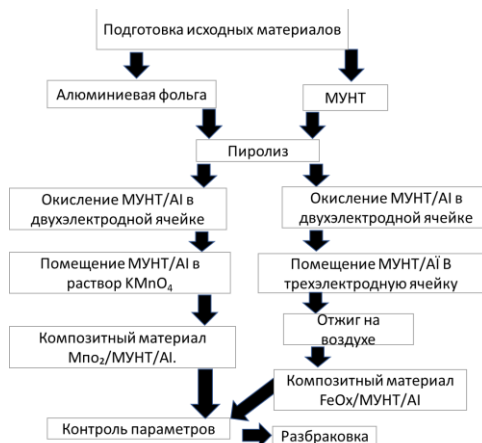


Рис. 1. Технологический процесс получения композитов для суперконденсаторов [1]

Литература

1. Митина, А. А. Получение и исследование композитных материалов FeOx /МУНТ/АІ и MnO_2 /МУНТ/АІ для электродов суперконденсаторов / А. А. Митина, Е. Е. Якимов, А. Н. Редькин // XXIX Российская конференция по электронной микроскопии: материалы конф. – С. 303–304.

УДК 541

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР

Студент гр. 11310223 Новосельский М. А.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы: изучить технологический процесс получения стабилизированных углеродных структур в виде стабилизированных углеродных цепей и пленок. В данной работе проведен обзор литературы, разработана технологическая схема.

Синтез углеродных цепочек и проводится методом лазерной абляции. Шунгитная мишень помещается в кювету с дистиллированной водой. Следом, используя лазерную установку на основе YAG:Nd^{3+} -лазера (длина волны 1064 нм) с длительностью импульса (~1 мс), частотой следования 50 Гц и энергией импульса от 1 до 10 Дж осуществляют облучение мишени. Далее раствор центрифугируется для выделения наночастиц с размером до 100 нм. Параллельно этому создают коллоидный раствор золота, с размером частиц не более 10 нм. Следом растворы смешивают и осуществляют лазерную обработку смеси Yd -лазером с длинной волны 1,06 мкм, длительностью импульса 100 нс, частотой 20 кГц и энергией импульса 1 мкДж. Обработка идет в течении 15 минут, в течении которой образуются углеродные цепи, стабилизированные золотом. В конце раствор наносят на подложку. В процессе естественного высыхания и процесса самосборки образуется карбиновая пленка [1].

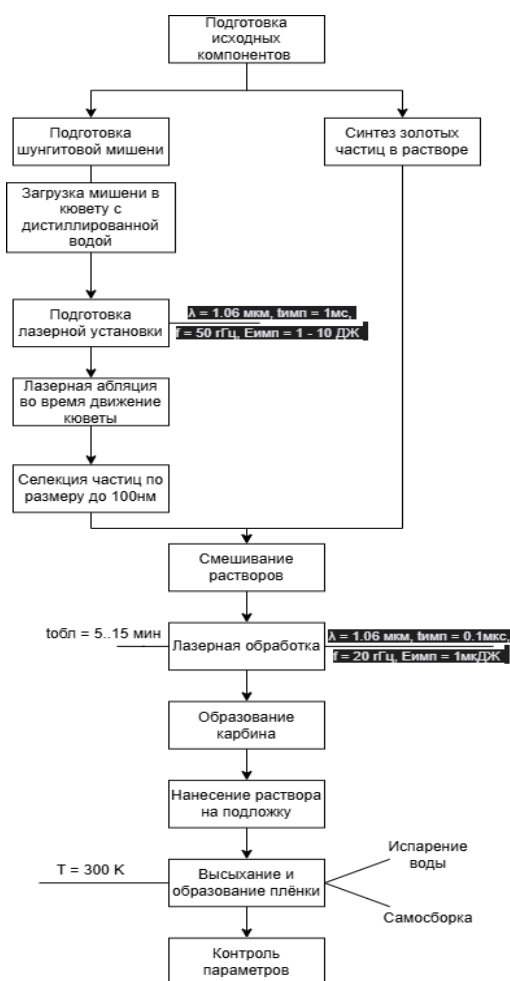


Рис. 1. Блок-схема получения стабилизированных углеродных структур

Область применения: сенсорика благодаря чрезвычайно высокой удельной поверхности и чувствительности электронной структуры к внешним воздействиям. Так же нередко применяют в оптоэлектронике благодаря управляемым оптическим свойствам.

Литература

1. Двухстадийный лазерно-индуцированный синтез линейных углеродных цепочек / А. О. Кучерик, С. М. Аракелян, С. В. Гарнов [и др.] // Квантовая электроника. – 2016. – Т. 46, № 7 – С. 627–632.

УДК 621.3.049.77

ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМОННЫХ НАНОАНТЕНН МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И НАНОСФЕРНОЙ ЛИТОГРАФИИ

Студент гр. 11310122 Петрушенко Е. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Плазмонные наноантенны на основе благородных металлов, таких как золото и серебро, являются ключевыми элементами современной нанофотоники и сенсорики благодаря способности эффективно локализовать и усиливать электромагнитное поле за счет возбуждения локализованных поверхностных плазмонных резонансов. Как отмечает С. А. Майер, «плазмоника изучает взаимодействие электромагнитного излучения с коллективными колебаниями свободных электронов в металлах, локализованных на субволновых масштабах» [1]. Концентрация электромагнитной энергии в наноразмерных областях позволяет значительно повысить чувствительность спектроскопических методов и реализовать эффекты поверхностно-усиленного комбинацион-

ного рассеяния. По данным В. И. Слюсара, наноантенны обеспечивают «управление распределением и направлением излучения на наномасштабном уровне» [2], что делает их перспективными элементами интегральных нанофотонных устройств.

Одним из основных этапов создания плазмонных наноантенн является выбор технологии их формирования. Существуют два широко применяемых метода нанолитографии: электронно-лучевая литография (EBL) и наносферная литография (NSL). Электронно-лучевая литография основана на прямом экспонировании электронно-чувствительного резиста сфокусированным электронным пучком. Данный метод обеспечивает высокое пространственное разрешение (порядка нескольких нанометров) и возможность формирования структур сложной геометрии с высокой точностью позиционирования. Как подчеркивает А. А. Цэн, «электронно-лучевая литография является одним из наиболее универсальных методов формирования наноразмерных структур» [3], что объясняет ее широкое применение при прототипировании плазмонных антенн.

Технологический процесс EBL включает подготовку подложки, нанесение резиста (например, PMMA), экспонирование, проявление, вакуумное осаждение металлического слоя и операцию lift-off. Осаждение золота или серебра осуществляется методами термического или электронно-лучевого испарения при высоком вакууме, что обеспечивает равномерность пленки и минимизацию загрязнений. Толщина металлического слоя (обычно 20–80 нм) напрямую влияет на спектральное положение плазмонного резонанса и интенсивность локального усиления поля. Для повышения адгезии часто используется тонкий подслои титана или хрома. Контроль параметров вакуумной системы, скорости осаждения и дозы экспонирования является критически важным для воспроизводимости геометрии и оптических характеристик наноантенн.

Наносферная литография использует процессы самосборки монослоев полистирольных или кремниевых сфер, которые служат шаблоном при последующем осаждении металла. Геометрия формируемых элементов определяется диаметром наносфер и параметрами реактивного ионного травления. Метод характеризуется высокой масштабируемостью и возможностью формирования периодических массивов на больших площадях. Согласно данным Г. И. Жданова, методы самоорганизации позволяют получать регулярные наноструктурированные массивы при сравнительно низких технологических затратах [4]. Однако гибкость проектирования и точность воспроизведения сложных форм в данном случае ограничены.

Сравнительный анализ показывает, что электронно-лучевая литография обеспечивает максимальную точность, возможность создания индивидуальных антенн произвольной формы и контроль межэлементных расстояний, что особенно важно для формирования «горячих точек». Наносферная литография уступает по разрешающей способности, но обеспечивает высокую производительность и масштабируемость при создании периодических массивов. Использование золота обеспечивает химическую стабильность структур, тогда как серебро демонстрирует более выраженные плазмонные резонансы в видимом диапазоне, но требует защиты от окисления.

Литература

1. Майер, С. А. Плазмоника: теория и приложения / С. А. Майер. – М.: Техносфера, 2012. – 320 с.
2. Слюсар, В. И. Наноантенны: подходы и перспективы / В. И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2009. – № 2. – С. 58–65.
3. Цэн, А. А. Электронно-лучевая литография: теория и применение / А. А. Цэн. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2014. – 232 с.
4. Жданов, Г. И. Материалы и технологии нанофотоники / Г. И. Жданов. – М.: Наука, 2016. – 280 с.

УДК 666.3-12

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПЛОТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ГАФНИЯ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Студент гр. 11310123 Полуян Н. В.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современное развитие аэрокосмической, энергетической и электронной техники требует создания материалов, способных сохранять работоспособность в экстремальных условиях: при сверхвысоких температурах, в агрессивных средах, под действием интенсивных механических

и тепловых нагрузок. Перспективными представителями таких материалов являются карбонитриды переходных металлов IV–V групп, в частности карбонитрид гафния $\text{Hf}(\text{C},\text{N})$. Данное соединение сочетает в себе уникальный комплекс свойств: высокую температуру плавления (свыше 3 900 °C), значительную твердость, химическую стойкость, низкую испаряемость и хорошую теплопроводность [1]. Однако реализация потенциала $\text{Hf}(\text{C},\text{N})$ требует разработки эффективных технологий получения, позволяющих управлять фазовым составом, дисперсностью и микроструктурой конечного продукта.

В работе рассматривается технологический процесс получения материалов на основе карбонитрида гафния, включающий три основных этапа: механическую активацию (МА), самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) и искровое плазменное спекание (ИПС). Механическая активация исходных порошковых смесей (гафний, тантал, углерод) проводится в высокоэнергетической планетарной шаровой мельнице в среде аргона. В результате МА достигается измельчение частиц, увеличение площади контакта реагентов, образование новых активных поверхностей, что способствует интенсификации последующих реакций [2].

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез осуществляется в атмосфере азота. Благодаря предварительной механической активации взаимодействие компонентов протекает в режиме горения с высокой скоростью, что обеспечивает формирование целевого карбонитридного продукта. Преимуществами СВС являются низкие энергозатраты, высокая чистота получаемых материалов и короткое время синтеза.

Заключительным этапом является консолидация синтезированных порошков методом искрового плазменного спекания. ИПС основан на пропускании импульсного постоянного электрического тока через графитовую пресс-форму с порошком. При этом происходит локальный разогрев контактов между частицами, генерация плазмы и активация диффузионных процессов. Это позволяет проводить спекание при температурах на 200–300 °C ниже традиционных методов горячего прессования, значительно сократить время процесса и минимизировать рост зерна. В результате формируется мелкозернистая структура с высокой плотностью.

Разработанная технологическая схема получения керамики представлена на рисунке 1.

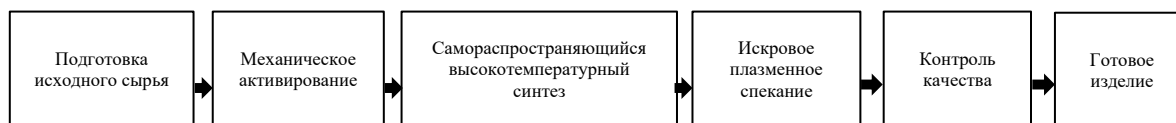


Рис. 1. Технологическая схема получения материалов на основе карбонитрида гафния

Таким образом, предложенный комбинированный подход (МА + СВС + ИПС) позволяет эффективно получать материалы на основе карбонитрида гафния с контролируемой микроструктурой и высокими физико-механическими характеристиками. Данные материалы перспективны для создания термобарьерных и износостойких покрытий, режущего инструмента, а также элементов электронной техники, работающих в экстремальных условиях.

Литература

1. Балкевич, В. Л. Техническая керамика: учеб. пособие / В. Л. Балкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
2. Толкачева, А. С. Общие вопросы технологии керамики: учеб. пособие / А. С. Толкачева, И. А. Павлова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 184 с.

УДК 621

ДОПИРОВАННЫЕ МАНГАНИТЫ

Студент гр. 11310223 Пролиско Д. А.

Кандидат тех. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы: изучить технологический процесс получения допированных манганитов. В данной работе проведен обзор литературы. Особое внимание уделено изучению и классификации магнитных материалов. Подробно изучены свойства и структура материалов, а также основные методы их получения.

Синтез допированных манганитов проводится по керамической технологии. Исходные компоненты смешивают и измельчают в течение 2 часов с добавлением этилового спирта в шаровой мельнице. Затем брикетируют и проводят предварительный обжиг при температуре 1000 °С в течение 4 часов. Термообработанные брикеты отправляют на основной помол, который проводился 10 часов. Далее, после добавлении в шихту 10 % раствора поливинилового спирта в качестве пластификатора, равномерного перемешивания, высушивания и гранулирования, получали пресс-порошок. Отформованные изделия подвергались заключительной стадии процесса – высокотемпературному спеканию. Образцы подвергались контролю параметров и проводили отжиг в вакууме [1]. В результате разработана технологическая схема (рис. 1).

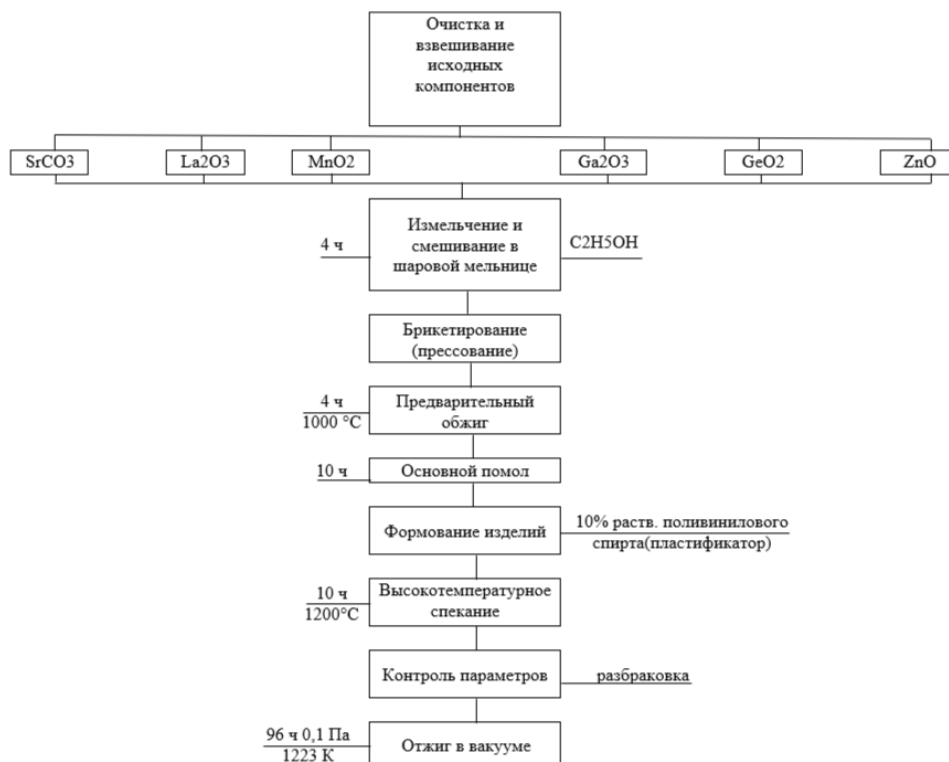


Рис. 1. Блок-схема получения допированных манганитов

Область применения: манганиты являются ключевыми материалами для развития спинтроники. Также они могут быть использованы в устройствах хранения данных и памяти, в магнитных сенсорах.

Литература

1. Суперпарамагнитные свойства манганитов лантана $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}_{0.925}\text{Zn}_{0.075}\text{O}_3$ ($x = 0.075, 0.095, 0.115$) / А. Г. Баделин, Р. М. Еремина, К. Р. Шарипов, Л. В. Мингалиева // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2013. – Т. 98, № 12. – С. 952–956.

УДК 621.382

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ЛИТОГРАФИЯ

Студенты гр. 11310125 Пузиновский К. А., Поболь Д. С.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Электронно-лучевая литография основана на том, что с помощью пучка электронов переносят изображение на светочувствительный материал, который называется резист. Формирования луча происходит также как у старых ЭЛТ мониторов. Электронный пучок ускоряется под действием электрического поля из-за разности потенциалов напряжения и характеризуется длиной волны. При разности потенциалов 15 кВ длина волны составляет $0,01 \cdot 10^{-9}$ метра, это меньше длины волны ультрафиолета почти в десять тысяч раз, а чем меньше длина волны, тем выше разрешение литографии (1).

$$CD = k_1 \cdot \frac{\lambda}{NA}, \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент, зависящий от конкретного процесса NA – параметры конкретных линз, λ – длина волны

Структуры, получаемые с помощью электронно-лучевой литографии, имеют размеры от 0,2 до 0,3 мкм. Из-за более высокого разрешения изображения не происходит искажения рисунка микросхемы при увеличении глубины рельефа многослойных структур [1].

В данном методе литографии электронный луч воздействует на резист, вызывая изменения. Электроны либо разрушают определенные области резиста, либо срачивают молекулы. Также при проявлении резиста происходит удаление материала: если это позитивный резист, то вымываются участки, которые подверглись облучению в случае с негативным – наоборот [2]. В качестве наглядности на рис. 1 приведен процесс электронно-лучевой литографии металла.

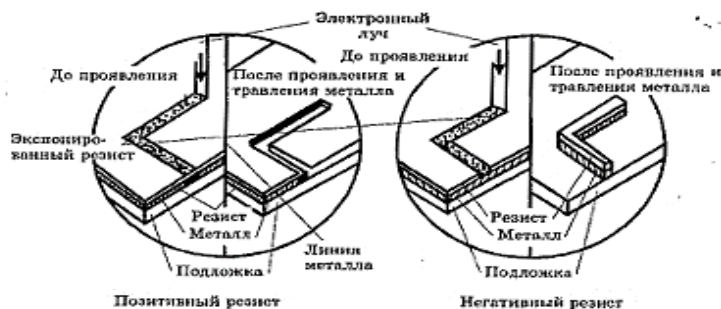


Рис. 1. Процесс электронно-лучевой литографии металла

Существуют три основные области применения данной литографии:

1. В технологии производства эталонных фотошаблонов и промежуточных оригиналов с размерами элементов менее 2 мкм.
2. При изготовлении больших интегральных схем, которые имеют размеры менее 1 мкм, путем непосредственной микрогравировки слоев.
3. В производстве шаблонов высокой точности для рентгеновской литографии и EUV [3].

Электронно-лучевая литография может быть использована как для производства шаблонов, так и для непосредственного формирования рисунка на пластине.

Литература

1. Лаврова, Л. К. Технология и оборудование литографических процессов / Л. К. Лаврова. – Мн.: БНТУ, 2019. – 103 с.
2. Ельцов, П. Экстремальная УФ-литография: будущее индустрии чипов / П. Ельцов // Droider.ru. – URL: <https://droider.ru/post/ekstremalnaya-uf-litografiya-budushhee-industrii-chipov-14-11-2025/> (дата обращения: 02.02.2026).
3. Литография в микроэлектронике // Astol.su. – URL: <https://astol.su/articles/mikroelektronika-litografiya-v-mikroelektronike/> (дата обращения: 02.02.2026).

УДК 621.389

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОРПУСИРОВАНИЯ МИКРОФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ «ЛАБОРАТОРИЯ НА ЧИПЕ»

Студент гр. 11310122 Пунько М. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Актуальность работы. Микрофлюидика является стратегически важным направлением в микро- и наносистемной технике, позволяющим создавать миниатюрные аналитические платформы формата «лаборатория на чипе» (Lab-on-a-Chip).

Эти системы обеспечивают прецизионное управление потоками жидкостей в каналах микрометрового масштаба и находят применение в экспресс-диагностике, высокопроизводительном

скрининге и экологическом мониторинге. Функциональная надежность таких устройств критически зависит от качества их корпусирования, которое обеспечивает герметичность, механическую защиту и биосовместимость.

Архитектурные решения и материалы. В зависимости от назначения устройства выделяют две основные конфигурации:

1. Бескорпусная архитектура: субстрат (кремний, стекло или ПДМС) используется без защитной крышки. Это упрощает производство и снижает стоимость, однако делает систему уязвимой к загрязнениям и испарению.

2. Корпусирование с крышками: использование крышек из стекла или полиметилметакрилата (ПММА).

Стекло (боросиликатное) ценится за исключительную химическую инертность, прозрачность и стабильность, но сложно в обработке.

ПММА отличается низкой стоимостью и простотой механической обработки, хотя уступает стеклу в стойкости к органическим растворителям.

Методы формирования герметичных соединений. Ключевым этапом создания чипа является выбор метода соединения крышки с субстратом, что определяет долговечность и чистоту анализов:

1. Прямое соединение (Direct Bonding): включает анодное (для стекла и кремния) и термическое (для двух стеклянных пластин) соединение. Эти методы не требуют использования клеев, что исключает риск загрязнения микроканалов и обеспечивает высокую биосовместимость.

2. Адгезивное соединение: использование эпоксидных или акриловых смол. Метод прост в реализации и позволяет соединять разнородные материалы при низких температурах, однако существует риск миграции компонентов клея в жидкость.

3. Методы сварки для полимеров: ультразвуковая и лазерная сварка позволяют создавать монолитные соединения за счет локального плавления материала.

Практическое применение. Микрофлюидные модули уже сегодня используются в портативных тестерах для мониторинга иммунодепрессии (ВИЧ), дисковых анализаторах биохимии крови и хроматографических колонках для контроля окружающей среды. Развитие «цифровой» микрофлюидики на базе эффекта электросмачивания открывает перспективы для автоматизированного анализа ДНК и белков.

Литература

1. Нисан, А. Микрофлюидные модули: области применения и технологии производства / А. Нисан // Электроника. – 2013. – № 5. – С. 182–196.
2. Евстапов, А. А. Микрофлюидные чипы из стеклянных материалов / А. А. Евстапов, Т. А. Лукашенко, Г. Е. Рудницкая, А. Л. Буляница // Научное приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 27–43.
3. Lab-on-a-chip devices: How to close and plug the lab? / C. K. Fredrickson, Z. H. Fan, R. A. Mathies [et al.] // Microelectronic Engineering. – 2015. – Vol. 132. – P. 156–175.

УДК 621

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ СВЕТОВОДОВ

Студент гр. 11310123 Редьков А. В.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучение технологического процесса получения инфракрасных световодов, анализ применяемых материалов, оборудования и методов контроля их параметров. В работе рассмотрены основные классы материалов, используемых для изготовления ИК-световодов, включая халькогенидные и фторидные стекла, а также поликристаллические соединения на основе галогенидов серебра. Показано, что выбор материала определяется спектральным диапазоном прозрачности, механической прочностью, термической стабильностью и устойчивостью к воздействию влаги. Проанализированы основные этапы технологического процесса получения инфракрасных световодов, включающие подготовку высокочистого исходного сырья, формирование преформ, вытяжку волокна и нанесение защитных покрытий (рис. 1).

Отмечено, что ключевыми факторами, влияющими на качество световодов, являются стабильность температурного режима, чистота атмосферы и точный контроль скорости вытяжки.

Рассмотрено оборудование, применяемое на различных этапах производства. Особое внимание уделено изучению методов контроля параметров инфракрасных световодов.

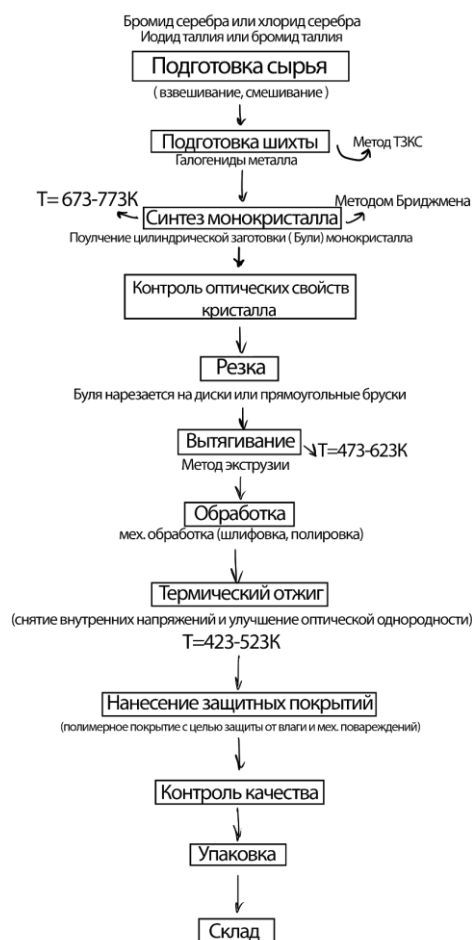


Рис. 1. Технологическая схема получения световодов на основе галогенидов серебра с таллием

Литература

1. Шмыгалев, А. С. Экспериментальное исследование теплопереноса инфракрасными галогенидсеребряными световодами / А. С. Шмыгалев. – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – 35 с.

УДК 621

СТЕРЕОЛИТОГРАФИЯ – АДДИТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Студент гр. 11310123 Рогачев К. С.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной работы является изучить технологический процесс получения изделий из полимерных материалов и разработать технологическую схему производства. В данной работе проведен обзор литературы. Изучена классификация методов аддитивного производства деталей из полимеров. Особое внимание уделено изучению методов стереолитографических методов и контролю параметров деталей.

В качестве объекта изучения выбран метод стереолитографии – выборочной полимеризации смол при помощи экспозиции УФ – излучением через маску. Исследовано влияние разрешения печати на скорость печати и качество поверхностей. Рассмотрен технологический процесс производства детали методом стереолитографии. На рисунке 1 представлена технологическая схема.

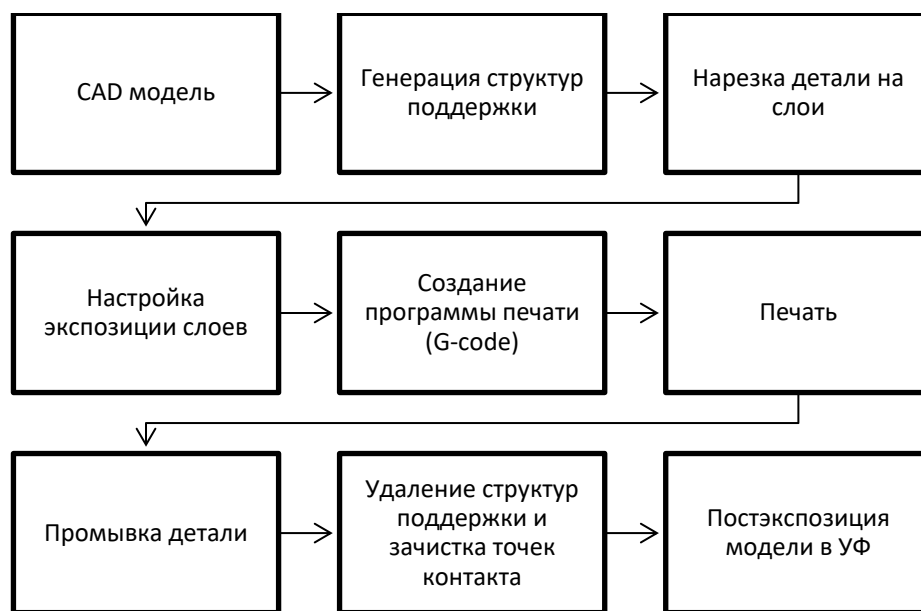


Рис. 1. Технологическая схема производства полимерных деталей методом стереолитографии
На рисунке 2 представлена модель изготовленной детали.

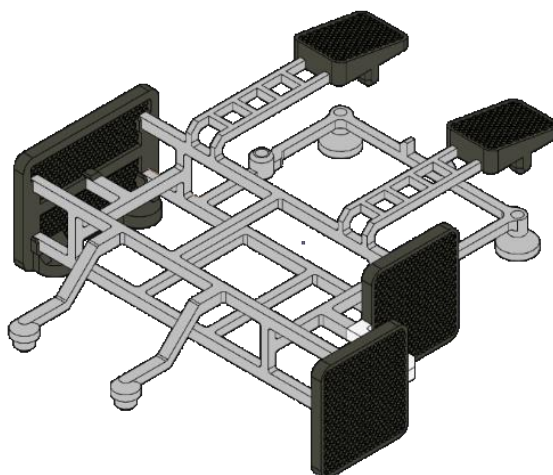


Рис. 2. CAD-модель разработанной детали

Стереолитография – это первая технология аддитивного производства, которая была запатентована в 1986 году и стала коммерчески успешной. Преимущество стереолитографии – высокая точность, прецизионность, гладкость поверхности, высокий уровень детализации.

УДК 621

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ НАНОСТРУКТУР

Студент гр. 11310223 Сацкевич А. И.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной работы – изучение технологического процесса получения гетерогенных наноструктур на основе нитрида бора. Особое внимание уделено изучению методов получения наноструктур. Приведены основные свойства структур, особенности контроля и область применения. Приведен анализ факторов, влияющих на эффективность технологического процесса [1].

Подробно изучен метод химического осаждения для получения наноструктур на основе нитрида бора. Проведен анализ факторов, влияющих на эффективность технологического процесса, а именно способ подготовки прекурсора, концентрация исходных растворов для осаждения, режимы высокоэнергетической обработки шихты после синтеза термообработка (отжиг).

По результатам анализа технологического процесса разработана технологическая схема (рис. 1).

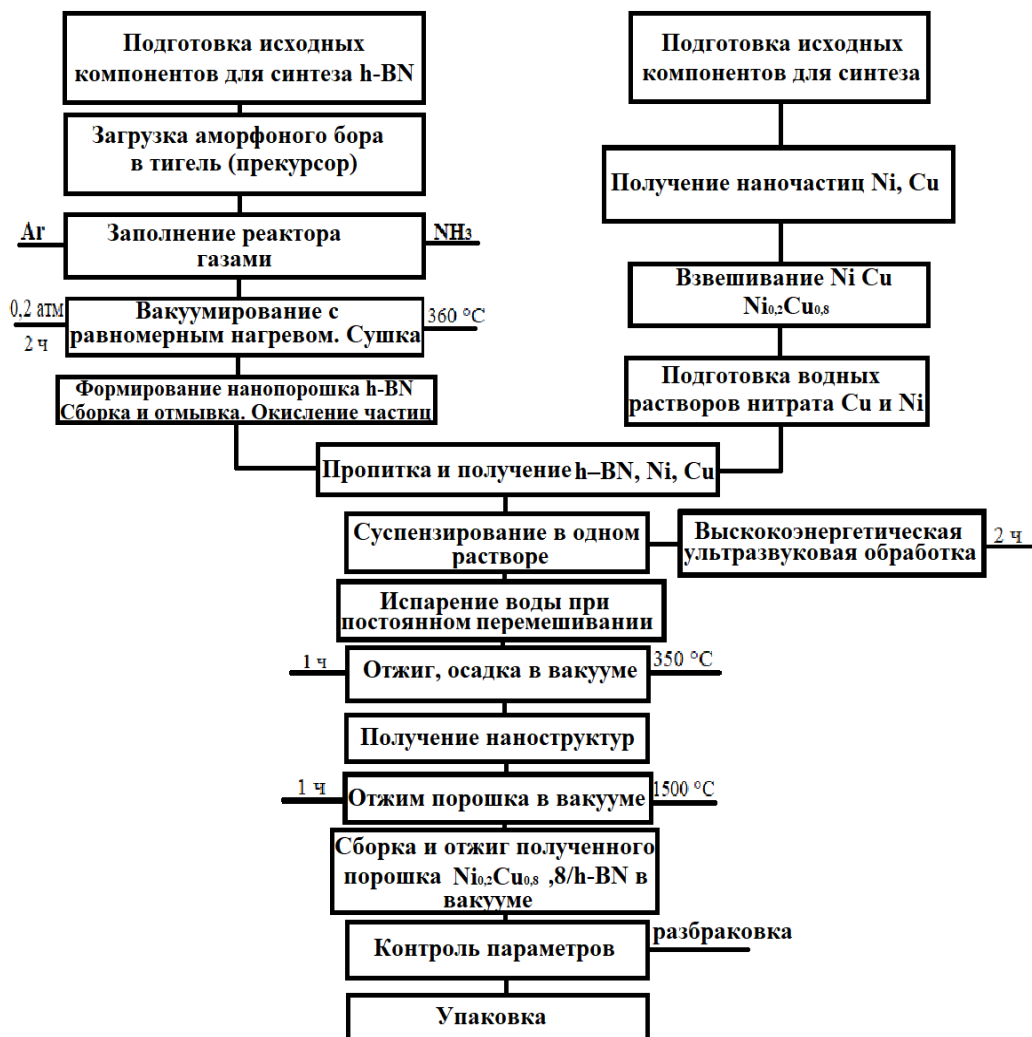


Рис. 1. Блок-схема получения гетерогенных наноструктур на основе нитрида бора

Область применения: изделия из гексагонального нитрида бора применяются для нужд атомной энергетики, электротехники, производства полупроводников, диэлектриков.

Литература

1. Новые гетерогенные наноструктурные катализаторы на основе наночастиц переходных металлов и гексагонального нитрида бора / А. С. Конопацкий, И. Н. Волков, Д. В. Штанский [и др.] // Письма в Журнал технической физики. – 2021. – Т. 47, № 16. – С. 10–12.

УДК 544.652

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОХИМИИ

Студент гр. 11304124 Серпиков М. В.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью работы является изучение природы возникновения поляризации и ее влияния на кинетику электродных превращений при протекании тока.

Современная электрохимия исследует закономерности превращения химической энергии в электрическую и обратно, фокусируясь на процессах на границе раздела фаз. В статических условиях, когда внешний ток отсутствует, на границе между электродом и раствором устанавливается термодинамическое равновесие. Однако при включении внешней цепи и протекании тока система переходит в неравновесное состояние, что неизбежно ведет к изменению электродного потенциала.

Явление смещения потенциала от его равновесного значения называют поляризацией. Основной причиной ее возникновения считается наличие медленной стадии в общем электрохимическом процессе, которая ограничивает скорость реакции [1]. Разность между потенциалом под током и его равновесным значением определяет величину перенапряжения. В зависимости от лимитирующей стадии выделяют концентрационную поляризацию, связанную с медленным подводом реагентов, и активационную поляризацию, обусловленную трудностями самого перехода заряда через границу раздела.

На рис. 1 наглядно демонстрируется развитие поляризационных явлений: при увеличении плотности тока потенциал электрода закономерно смещается в отрицательную область. Данный наклон кривой на графике прямо показывает наличие энергетических и концентрационных затруднений, которые системе приходится преодолевать для протекания реакции.

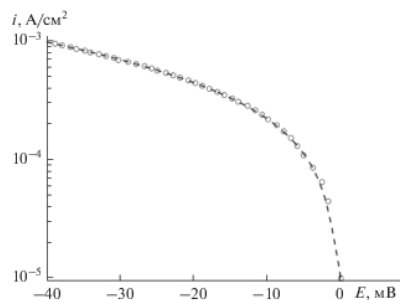


Рис. 1. Поляризационная кривая: зависимость плотности тока (i) от потенциала (E)

Данные явления имеют большое значение для инженерной практики. В процессах электролиза поляризация позволяет регулировать структуру получаемых металлических покрытий. В технике защиты от коррозии эффекты поляризации используются для перевода металлов в пассивное состояние. Также учет поляризационных потерь необходим при разработке аккумуляторов, так как они определяют реальное рабочее напряжение источника тока.

Литература

1. Физическая химия: в 2 кн. / К. С. Краснов, Н. К. Воробьев, И. Н. Годнев [и др.]; под ред. К. С. Краснова. – М.: Высшая школа, 2001. – Кн. 2: Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. – 319 с.

УДК 620.22:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИИ ДЛЯ ИНЖИНИРИНГА МАТЕРИАЛОВ

Студент гр. 11304124 Серпиков М. В.

Кандидат техн. наук, доцент Балохонов Д. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Инжиниринг материалов электронной техники (МЭТ) сегодня определяется как дисциплина, сфокусированная на фундаментальном проектировании атомной структуры для получения целевых электрофизических свойств. В рамках данного направления основной задачей является создание полупроводниковых и диэлектрических слоев, способных эффективно функционировать в экстремальных режимах современной наноэлектроники. Конечная цель инженерии заключается в переходе от простого наблюдения свойств к их предиктивному программированию на этапе выбора химического состава.

Традиционное получение МЭТ основывается на методах послойного роста, таких как молекулярно-лучевая эпитаксия и магнетронное напыление. Ранее разработка новых соединений опиралась на длительные экспериментальные циклы, где параметры синтеза подбирались эмпирически. Хотя методы квантово-механического моделирования облегчили предсказание характеристик, их применение ограничено значительными временными затратами при расчете сложных многокомпонентных систем [1]. Это создает потребность в инструментах, способных обрабатывать массивы данных быстрее классических алгоритмов.

Для ускорения инноваций внедряется концепция информатика материалов, которая объединяет физику твердого тела с алгоритмами глубокого обучения. На рис. 1 представлена интегрированная схема, отражающая взаимодействие между цифровыми предсказаниями и реальным производственным циклом.



Рис. 1. Интегрированная схема инжиниринга материалов на основе ИИ

Искусственный интеллект (ИИ) находит применение на всех ключевых стадиях инжиниринга. На этапе поиска ИИ проводит высокопроизводительный скрининг баз данных, таких как Materials Project [2], выявляя перспективные полупроводники с нужной шириной запрещенной зоны. В процессе синтеза нейронные сети анализируют сигналы с датчиков в режиме реального времени, оптимизируя параметры для исключения дефектов в кристаллической решетке. На финальной стадии контроля алгоритмы компьютерного зрения позволяют с высокой точностью идентифицировать фазовые границы и структурные неоднородности.

Эффективность ИИ подтверждена синтезом электролитов системы Li–P–S с высокой ионной проводимостью и радиационно-стойких сплавов Al–Co–Cr–Fe–Ni. Также с помощью нейросетей получены перовскитные пленки на базе катионов формамидиния, сохраняющие стабильность под нагрузкой более 1000 часов. Применение ИИ превращает материаловедение в цифровую индустрию, многократно ускоряя путь от разработки до внедрения компонентов наноэлектроники.

Литература

1. Agrawal, A. Perspective: Materials informatics and big data: Realization of the "fourth paradigm" of science in materials science / A. Agrawal, A. Choudhary // APL Materials. – 2016. – Vol. 4, № 5. – Art. 053208.
2. The Materials Project: A public data infrastructure for accelerating materials discovery / A. Jain, S. P. Ong, G. Hautier [et al.] // APL Materials. – 2013. – Vol. 1, № 1. – Art. 011002.

УДК 681.586:546.26

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В РЕЗИСТИВНЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРАХ

Студент гр. 11304124 Серпиков М. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Разработка газоаналитических систем нового поколения на основе графена обусловлена необходимостью высокоточного мониторинга окружающей среды и контроля промышленных выбросов. Графен обладает уникальной двумерной структурой и рекордным отношением площади поверхности к объему, что делает каждый атом материала потенциальным центром адсорбции. Высокая подвижность носителей заряда при комнатной температуре в сочетании с низким уровнем собственных шумов позволяет регистрировать сверхмалые концентрации токсичных газов, вплоть до уровня отдельных молекул. Использование резистивного принципа детектирования обеспечивает простоту конструкции и низкое энергопотребление, что критически важно для создания портативных интеллектуальных датчиков.

Физические принципы работы таких устройств базируются на модуляции электрической проводимости графенового слоя при взаимодействии с аналитом. Механизм детектирования заключается в прямом переносе заряда между адсорбированной молекулой-акцептором (например, NO₂) или донором (NH₃, CO) и кристаллической решеткой наноматериала. В результате адсорбции происходит изменение плотности состояний и сдвиг уровня Ферми, что фиксируется как измеряемый резистивный отклик. Эффективность этого процесса во многом определяется типом дефектов в структуре графена и наличием функциональных групп. Типовая схема взаимодействия молекул газа с активной поверхностью представлена на рис. 1.

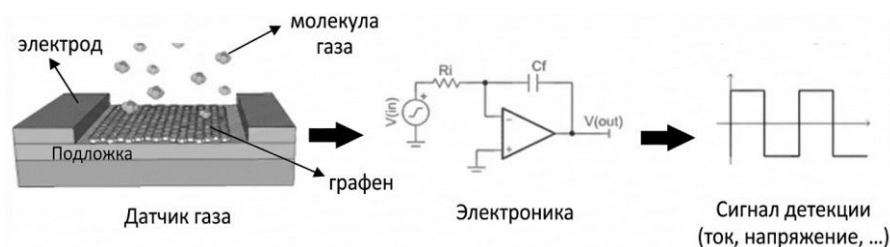


Рис. 1. Схема взаимодействия аналита с поверхностью графенового сенсора

Одной из ключевых проблем «чистого» графена остается низкая селективность, вызванная отсутствием энергетической щели и высокой химической инертностью базальной плоскости. Пути решения данной задачи лежат в плоскости создания настраиваемых гибридных материалов с контролируемым переносом заряда. Модификация графена наночастицами благородных металлов или оксидов переходных металлов позволяет создавать специфические активные центры, селективно реагирующие на конкретные газы-мишени. Такие гибридные структуры обеспечивают синергетический эффект, сочетая высокую проводимость углеродного каркаса с каталитической активностью модификаторов.

Приведенные данные о повышении чувствительности подтверждают, что использование модифицированных сенсоров позволяет увеличить аналитический сигнал в 3–5 раз по сравнению с базовыми элементами. Современные подходы к инжинирингу интерфейсов «графен-адсорбат» открывают возможности для цифрового проектирования материалов с заданными электрофизическими свойствами. Таким образом, интеграция настраиваемых гибридных пленок в архитектуру резистивных датчиков является перспективным направлением для развития систем экологической безопасности и промышленной диагностики.

Литература

1. Сысоев, В. И. Создание настраиваемых гибридных материалов с переносом заряда для применения в резистивных газовых сенсорах: отчет о проекте РНФ № 24-73-10039 / В. И. Сысоев. – 2025. – 12 с.
2. Unraveling the Gas-Sensing Mechanisms of Lead-Free Perovskites Supported on Graphene / J. Casanova-Chafer, R. Garcia-Aboal, P. Atienzar [et al.] // ACS Sensors. – 2022. – Vol. 7, № 12. – P. 3753–3763.
3. Graphene-Based Gas Sensors: State-of-the-Art Developments for Gas Sensing Applications / A. M. Teli, S. M. Mane, S. A. Bektalkar [et al.] // Micromachines. – 2025. – Vol. 16, № 8. – P. 916.

УДК 681.2-78

ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛ-ОКСИДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ

Студенты гр. 11310124 Серяков П. А., Самонов М. О., Бруев А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Балохонов Д. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном мире при производстве компонентов электротехники используются различные вещества, в том числе и токсичные. Однако, в случае утечки этих веществ, резко увеличивается риск отравления рабочего персонала на производстве. Для обнаружения утечек используются газовые сенсоры, и целью данной работы является изучение металл-оксидных полупроводниковых (МОП) газовых сенсоров.

МОП-сенсоры для обнаружения летучих органических соединений (ЛОС), работающие в режиме циклического изменения температуры, способны обнаруживать формальдегид, бензол и нафталин в концентрациях на уровне ppb и суб-ppb. Они могут работать даже при наличии этанола в фоновых концентрациях до 2 ppm.

Принцип работы датчиков МОП основан на изменении проводимости чувствительного компонента устройства в присутствии восстанавливающих или окисляющих газов. В этих сенсорах чувствительный слой находится в прямом контакте с воздухом. Рабочий механизм сенсора основан на взаимодействии между сопротивлением и энергетическим барьером, который изменяется из-за плотности носителей заряда на границах зерен. При взаимодействии сенсора с токсичными газами происходит изменение физических и химических свойств чувствительного материала при повышенных температурах, что и приводит к изменению проводимости устройства. Чаще всего используются два типа МОП сенсоров, а именно: n-типа на основе TiO_2 , ZnO , SnO_2 , WO_3 , а также

p-типа на основе NiO , Mn_3O_4 , Cr_2O_3 , с толщиной чувствительных компонентов от нескольких нанометров до нескольких десятков. Чувствительность МОП сенсора зависит от толщины чувствительного слоя, находящихся в нем каталитических металлических частиц и температуры самого слоя. Когда он взаимодействует с восстанавливающим газом, происходит увеличение проводимости, однако, при контакте с окисляющим газом происходит снижение производительности сенсора за счет обеднения чувствительного слоя носителями заряда. Основными носителями заряда в МОП сенсорах p-типа являются положительно заряженные дырки.

В качестве изолирующего слоя часто используют диоксид кремния (SiO_2), который получают путем термического окисления до толщины нескольких микронетров. После этого подложку обрабатывают химическим или плазменным травлением с целью ее утончения. Для активации в чувствительном слое химических реакций, которые требуют высоких температур, в МОП сенсорах необходимо разместить микронагреватели. Поэтому их размещают в нижней части устройства, чтобы повысить температуру чувствительной области. Для предотвращения электрического контакта между микронагревателем и электродами из оксида металла, микронагреватель покрывают изолирующим слоем SiO_2 толщиной 300 нм, нанесенным путем электронно-лучевого испарения. Электроды МОП сенсора формируются аналогично микронагревателю, с использованием магнетронного распыления и процесса фотолитографии. Обычно электроды изготавливают из слоя Cr или Au толщиной 10/60 нм. Чувствительный слой МОП сенсора наносится поверх электродов. Выбор метода его нанесения зависит от используемого материала. Для стандартных МОП сенсоров на основе SnO_2 чувствительный материал толщиной 50 нм наносят путем магнетронного распыления. На завершающем этапе обратную сторону подложки и диоксид кремния удаляют с помощью реактивного ионного травления для улучшения теплоизоляции и снижения энергопотребления.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что МОП сенсоры являются технологически обоснованным решением для мониторинга воздуха в производственных помещениях, что дает своевременно обнаружить утечку токсичных веществ и минимизировать угрозу для здоровья персонала.

Литература

1. Seiyama, T. Study on a Detector for Gaseous Components Using Semiconductive Thin Films / T. Seiyama, S. Kagawa // Analytical Chemistry. – 1966. – Vol. 38, № 8. – P. 1069–1073.
2. Polymer-based gas sensor on a thermally stable micro-cantilever / A. Emadi, C. Shafai, D. Thomson [et al.] // Procedia Engineering. – 2010. – Vol. 5. – P. 22–24.
3. Quartz Crystal Microbalance Gas Sensor for Detection of Volatile Organic Compounds using Titanium Dioxide coated with Dye-porphyrin / S. Arshad, M. M. Salleh, M. Yahaya [et al.] // Solid State Science and Technology. – 2008. – Vol. 16, № 2. – P. 75–84.

УДК 621.38:621.791.72

ТЕХНОЛОГИЯ КОРПУСИРОВАНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ В КОРПУСА LCC И QFN ТИПА МЕТОДОМ ГЕРМЕТИЗАЦИИ

Студент гр. 11310122 Силич В. Ю

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Широкое внедрение микроэлектромеханических систем (МЭМС) в сегмент инерционных датчиков (акселерометров и гироскопов) кардинально изменило отрасли потребительской электроники, автомобилестроения, аэрокосмической и навигационной техники, обеспечив беспрецедентный уровень миниатюризации, надежности и экономичности. Ключевым фактором, определяющим долговечность и стабильность характеристик этих приборов, является обеспечение их защиты от внешних воздействий – влаги, механических напряжений, термоциклирования и загрязнений. Решение этой задачи лежит в области совершенствования технологий корпусирования, в частности, герметизации. Среди множества типов корпусов для микроэлектроники безвыводные корпуса LCC (Leadless Chip Carrier) и QFN (Quad Flat No-leads) получили приоритетное распространение благодаря оптимальному сочетанию компактности, высоких электрических и тепловых характеристик, а также пригодности для массового производства. Таким образом,

разработка высокоэффективной, воспроизводимой технологии герметизации именно для этих типов корпусов представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

В рамках исследования был проведен сравнительный анализ существующих методов герметизации: холодной и электронно-лучевой сварки, шовной контактной (роликовой) сварки, пайки, а также бескорпусных методов. На основе критериев минимального теплового воздействия на чувствительные МЭМС-структуры, высокой точности, возможности работы с разнородными материалами корпусов и достижения вакуум-плотного соединения в качестве оптимального был обоснован выбор импульсной лазерной сварки. Данный метод основан на формировании непрерывного герметичного шва по периметру соединения крышки и основания корпуса за счет серии перекрывающихся сварных точек, создаваемых сфокусированным излучением. Ключевыми преимуществами лазерной сварки являются предельно малая зона термического влияния, исключая повреждение термочувствительных элементов и близкорасположенных металлостеклянных спаев; возможность прецизионного управления процессом; сварка в контролируемой атмосфере с защитой инертным газом; отсутствие механических нагрузок на изделие и необходимости использования флюсов.

Была рассмотрена принципиальная схема технологического процесса герметизации. Процесс включает последовательные этапы: подготовку соединяемых поверхностей крышки и основания корпуса (очистка, обезжиривание), высокоточную сборку и фиксацию компонентов, непосредственно импульсную лазерную сварку по заданному замкнутому контуру в контролируемой атмосфере и заключительный контроль качества сварного шва и герметичности всего узла. Разработанная технология предназначена для серийного производства инерционных МЭМС-датчиков, используемых в широком спектре применений. К ним относятся системы стабилизации и навигации беспилотных летательных аппаратов и робототехнических комплексов, инерциальные измерительные блоки для аэрокосмической техники, датчики для систем активной безопасности, курсовой устойчивости и навигации в автомобилестроении, а также оборудование для промышленного мониторинга вибраций и положения. Использование корпусов LCC и QFN в сочетании с лазерной герметизацией позволяет создавать компактные, надежные и долговечные сенсорные модули.

Дальнейшее развитие технологии связано с интеграцией лазерных сварочных комплексов в роботизированные линии для групповой и полностью автоматической обработки корпусов; использованием волоконных и ультракороткоимпульсных лазеров для дальнейшего снижения тепловой нагрузки. Актуальным является также исследование новых сплавов и композитных материалов для крышек и рамок корпусов, обладающих улучшенной свариваемостью и коэффициентом теплового расширения, согласованным с керамикой LCC и материалами QFN. Совершенствование данной технологии будет способствовать повышению надежности, миниатюризации и снижению себестоимости инерциальных измерительных блоков следующего поколения, что соответствует глобальным тенденциям развития интернета вещей (IoT), автономного транспорта и аддитивных производств.

Литература

1. Гадзиковский, В. И. Герметизация микросхем и микросборок: метод. указания к лаб. работам и курсовому проектированию по дисциплине «Технология микроэлектронных устройств» / В. И. Гадзиковский, Л. А. Панасенко. – Мн.: БГУИР, 2015. – 48 с.

УДК 666.321–033

ЯВЛЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ Al_2O_3 И Fe_2O_3 В КАОЛИНЕ «СИТНИЦА» ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Студент спец. 6-05-0716-07 гр. 9 Стасюк А. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Сергиевич О. А.

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Самым распространенным глинообразующим силикатным минералом является каолинит, который имеет химическую формулу $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и представляет собой типичный продукт кристаллизации при низких температурах с избытком кремнезема моноклинной структуры.

На территории Беларуси выявлено значимое месторождение природного каолина «Ситница» с общими суммарными запасами 2,53 млн т [1].

Ранее было установлено [2], что в природном каолине «Ситница» на основе химического анализа среднее содержание Al_2O_3 и Fe_2O_3 составляет соответственно 25,1 и 1,56 %. При переходе от более крупных к мелким глинистым фракциям количественное содержание данных оксидов увеличивается. Таким образом, возникает интерес к изучению растворимости (г Al_2O_3 и Fe_2O_3 на 100 г раствора) данных оксидов в 1М растворе соляной кислоты при термической обработке глинистого сырья. На рисунке 1 представлена графическая зависимость растворимости указанных оксидов от температурной обработки.

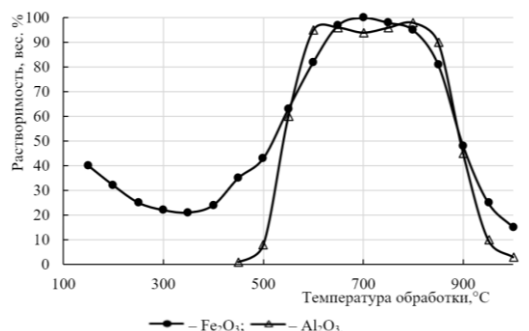


Рис. 1. Термическая кривая растворимости Al_2O_3 и Fe_2O_3 от температуры нагревания природного каолина «Ситница»

Химическое разложение при обжиге, главным образом, проявляется в сильном возрастании растворимости глинозема в разбавленной соляной кислоте. Небольшое количество Fe_2O_3 , содержащегося в каолиновых глинах, также становится легко растворимым в кислоте после эндотермической дегидратации. Как известно, при эндотермическом эффекте с минимум при 520–550 °С происходит образование метакаолинита, и растворимость Al_2O_3 значительно возрастает от 30 до 65 %. Данный тепловой эффект сопровождается полной потерей пластических свойств глинистого сырья. Если каолиновую породу нагревать до 850 °С и выше, растворимость обоих оксидов сильно понижается, что связано с процессами муллитобразования в данном температурном интервале (экзотермический максимум при 950–1000 °С).

Таким образом, установлена взаимосвязь между термическими характеристиками и растворимостью Al_2O_3 и Fe_2O_3 в природном каолине «Ситница», что позволит в свою очередь более глубоко понимать процессы структурообразования при тепловой обработке, а также использовать различные пути повышения кондиционности некачественного сырья с повышенным содержанием железосодержащих примесей.

Литература

1. Трацевская, Е. Ю. Геология Беларуси и ближнего зарубежья / Е. Ю. Трацевская, М. Г. Верутин. – Мн.: Вышэйшая школа, 2021. – 280 с.
2. Thermal and deformative characteristics of kaolin raw deposits of the Republic of Belarus / O. A. Sergievich, E. M. Dyatlova, R. Y. Popov, A. S. Sobachevskiy // Engineering Structures and Technologies. – 2015. – Vol. 7, № 2. – P. 93–98.

УДК 541

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Студент гр. 11304124 Тимошенко Д. В.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью работы является изучение особенностей использования калориметрии для измерений в физической химии при проведении экспериментов. С помощью калориметрии возможно измерить тепловые эффекты химических реакций, а также различные тепловые свойства систем, например, теплоемкости и теплоты фазовых превращений.

В работе проведен критический обзор литературных источников в области калориметрических измерений. Подробно изучены виды калориметров, их особенности, достоинства и недостатки. В настоящее время рабочий температурный диапазон калориметров составляет от 0,1 до 3 500 К. Особое внимание уделено изучению методики определения тепловых эффектов [1].

На рис.1 представлена схема калориметра с изотермической оболочкой, которая позволяет поддерживать постоянную температуру внешней среды (оболочки). Принцип работы такого калориметра заключается в следующем: весь процесс проходит в камере, которая помещена в изолированный сосуд, заполненный жидкостью. Изменение температуры жидкости, находящейся в сосуде, определяется термометром.

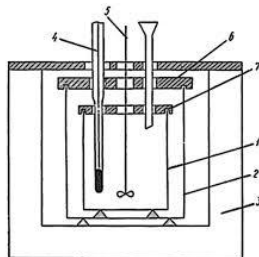


Рис. 1. Устройство калориметра:

1, 2 – стаканы; 3 – изотермическая оболочка; 4 – термометр; 5 – мешалка; 6, 7 – крышки

Теплоемкость воды рассчитывается путем умножения ее массы на удельную теплоемкость, а теплоемкость калориметра рассчитывают, учитывая удельные температуры и массы тех частей калориметра, которые подлежат измерению. Также теплоемкость калориметра можно определить путем проведения реакции с известным тепловым эффектом.

В работе определяли тепловой эффект растворения соли CuSO_4 и тепловой эффект нейтрализации щелочи кислотой.

Также количество теплоты можно определить, не прибегая к использованию калориметра, для этого следует воспользоваться формулой:

$$Q = cm(\Delta T). \quad (1)$$

где c – удельная теплоемкость, m – масса, ΔT – изменение температуры.

Литература

1. Практикум по калориметрическим методам исследования / В. В. Горбачук, Т. А. Мухаметзянов, М. И. Ягофаров [и др.]. – Казань: Казанский федеральный университет, 2024. – 71 с.

УДК 539

МЕТАМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН

Студент гр. 11304124 Тимошенко Д. В.

Кандидат техн. наук, доцент Балохонов Д. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время радиопоглощающие материалы (РПМ) на основе ферритов или карбонильного железа, обладают рядом недостатков такие как узкий рабочий диапазон и большой вес. Развитие новых технологий требует создания материалов, способных эффективно подавлять радиоволны в широком диапазоне частот при минимальной массе и габаритах. Решением этой проблемы стало появление метаматериалов которые обладают уникальными свойствами, которые невозможно получить, используя природные вещества. Метаматериалы создаются путем внедрения в исходный образец различных структур с различными геометрическими формами, которые модифицируют диэлектрическую и магнитную проницаемость исходного материала. Крошечные структуры, присутствующие в материале, дают возможность отклонять электромагнитное излучение и направлять его в заданном направлении. Отличительной особенностью метаматериалов являются отрицательные значения магнитной и диэлектрической проницаемости, существующие одновременно, отрицательный показатель преломления, сильные киральные

свойства и др. Благодаря этим свойствам метаматериалы способны непрерывно изменять направление радиоволн и тем самым делать все внутри этого объекта практически невидимым для радиоволн [1].

На рис. 1 показана структура квадратной замкнутой поглотительной ячейки в форме лабиринта. Вокруг лабиринта сделаны две квадратные металлические оболочки, обеспечивающие ее вращательную симметрию и, следовательно, нечувствительность к кросс-поляризации. Эта особенность конструкции сделала его идеальным метаматериальным поглотителем, не имеющим аналогов. Он основан на подложке FR4 (толщиной 1,6 мм) и отожженной меди с обеих сторон. Два квадратных периметра окружают две взаимно ортогональные структуры лабиринта по внешней и внутренней окружностям, а заземление выполнено по краю.

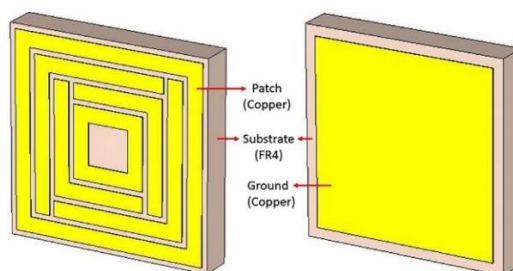


Рис. 1. Метаматериальный поглотитель в форме квадратного замкнутого лабиринта

Основными характеристиками, благодаря которым метаматериалы выигрывают у обычных РПМ являются следующие: метаматериалы способны эффективно работать в более широком диапазоне частот, они значительно легче и меньше, и также имеют лучшую долговечность в сравнении с обычными РПМ. Также метаматериалы обладают возможностью корректировки конкретных свойств (таких как диэлектрическая проницаемость) для конкретных условий.

В заключение, метаматериалы представляют собой революционную область исследований, открывающую новые горизонты во всех областях науки благодаря их уникальным свойствам, появляется возможность создавать устройства, которые превосходят возможности традиционных материалов.

Литература

1. Метаматериалы и метаповерхности / И. Семченко, С. Хахомов, А. Самофалов [и др.] // Наука и инновации. – 2020. – № 8. – С. 23–27.

УДК 541

СИНТЕЗ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АДсорбЦИОННЫХ СТРУКТУР

Студент гр. 11310124 Тумар А. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет

Цель данной работы заключается в изучении синтеза адсорбционных структур и дальнейших областей их применения.

В работе проведен обзор литературы в области адсорбции. Подробно изучены виды адсорбции, теория адсорбции. Особое внимание уделено изучению синтеза и формирования структуры адсорбентов.

Адсорбция – процесс поглощения одного вещества на поверхности другого. Причиной такого явления является некомпенсированность межмолекулярных сил на границе раздела фаз, иначе говоря, наличие адсорбционного силового поля. Создается такое поле адсорбентом – веществом с развитой поверхностью, за счет которой и происходит поглощение. Поглощаемым же веществом выступает адсорбат, молекулы которого обладают способностью адсорбироваться.

Исходя из этого можно сделать вывод, что любое вещество, которое обладает поверхностью, может являться адсорбентом. Однако не любой такой адсорбент подойдет для использования в технике, ведь чем больше удельная поверхность, тем выше поглощающая способность. Этого можно достичь путем создания в процессе синтеза, или же на этапе обработки пористой структуры.

Промышленный адсорбент – адсорбент с высокой микропористостью. Наиболее распространенными являются активированный уголь, силикагель и цеолит, каждый из которых обладает уникальной структурой и свойствами. Так, например, силикагель гораздо лучше остальных подходит для работы с осушением, благодаря наличию заряда поверхности.

Как и было упомянуто ранее, каждый из этих адсорбентов имеет свою уникальную структуру. У активированного угля характерной чертой является его высокопористость, которую достигают за счет обработки углеродосодержащего материала до сложноажурной структуры. Кристаллы углерода в ней имеют трещины, а также зазоры между собой, образуя микропоры, совокупность которых в свою очередь образует зоны микропористости.

Структура силикагеля представляет из себя множество слипшихся глобул, пространство между которыми и является порами. В последствии при помощи температуры, либо изменении кислотности среды, получают глобулы разного размера, что позволяет задать адсорбенту нужную структуру.

Цеолит, по своей природе, имеет более необычную структуру, представляющую собой множество октаэдров, соединенных между собой призмами. Плоскости в них заполнены водой, из-за чего, чтобы они стали пригодными для адсорбции, при помощи, например, нагрева, их осушают.

На рисунке 1 представлены модели структур активированного угля, силикагеля и цеолита.

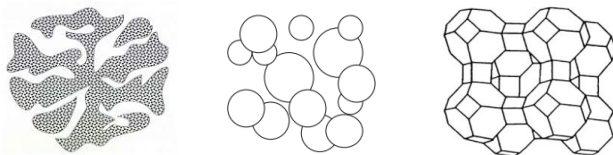


Рис. 1. Модели структур активированного угля, силикагеля и цеолита

Высокопористые адсорбенты с развитой поверхностью широко используются в науке и технике. Адсорбенты применяют в качестве носителей катализаторов, для разделения близких по свойствам и структуре веществ в хроматографии, для очистки воды от металлов и примесей, при переработке нефти, в медицине.

Литература

1. Ещенко, Л. С. Технология катализаторов и адсорбентов / Л. С. Ещенко. – Мн.: БГТУ, 2015. – 167 с.

УДК 537

МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ

Студент гр. 11304124 Чернявский В. П.

Кандидат техн. наук, доцент Балохонов Д. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные исследования в области магнитных наночастиц направлены на совершенствование методов их синтеза и стабилизации. Управление составом и размером этих частиц позволяет создавать «умные» материалы, обладающие спектром программируемых характеристик для решения широкого круга задач.

Магнитные наночастицы – класс наноразмерных материалов, имеющий магнитные свойства, делающие их привлекательными для применений в широком спектре науки и техники [1]. Структура магнитных наночастиц состоит из магнит восприимчивого сердечника – железо, кобальт, никель и оболочки, которой является поверхностно активное вещество, например полимер [1]. Уникальные свойства этих материалов – суперпарамагнетизм и высокая магнитная восприимчивость, открывают возможности для их использования в адресной доставке лекарств, магнитной сепарации и даже в магнитно-резонансной томографии [1].

Для получения магнитных наночастиц с заданными свойствами применяются различные методы. Выбор конкретного метода синтеза определяет размер, форму, кристалличность и, в конечном итоге, магнитные характеристики получаемых частиц [1].

Одним из наиболее распространенных методов является – метод совместного осаждения, благодаря своей простоте и экономичности. Он заключается в осаждении солей железа (например,

хлоридов или сульфатов) в щелочной среде. Однако, у этого метода есть недостаток: получаемые частицы часто имеют широкое распределение по размерам и могут содержать примеси [1].

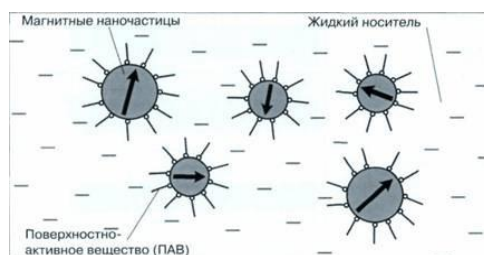


Рис. 1. Схема строения магнитных жидкостей

Еще один метод – термическое разложение, позволяет получать монодисперсные наночастицы с высоким контролем размера и формы. Этот метод основан на разложении металлоорганических прекурсоров в высококипящих растворителях. Метод требует использования дорогих реагентов и высоких температур.

Золь-гель метод также широко используется для синтеза оксидных магнитных наночастиц. Процесс включает гидролиз и конденсацию прекурсоров с образованием коллоидного золя, который затем превращается в гель. Этот метод хорош для получения наночастиц с высокой чистотой и гомогенностью [1].

Ключевым этапом после синтеза является стабилизация наночастиц, поскольку из-за высокой поверхностной энергии они склонны к агрегации. Для предотвращения этого процесса их поверхность модифицируют полимерами, ПАВ или неорганическими соединениями (например, кремнеземом), что создает защитную оболочку и служит платформой для катализаторов или распознающих молекул [1].

Оптимальный тип наночастиц определяется требованиями применения. Для задач, критичных к монодисперсности (электроника, сенсоры), лучше подходят частицы, полученные методом термического разложения [1]. Для экологических и крупнотоннажных применений предпочтительнее совместное осаждение с последующей стабилизацией поверхности [2]. При создании нанокомпозитов также важно учитывать концентрацию частиц и диполь-дипольные взаимодействия, определяющие итоговые магнитные свойства материала.

Литература

1. Абилкосимова, Г. М. Магнитные наночастицы: получение, стабилизация, применение / Г. М. Абилкосимова, Д. М. Аронбаев, С. Д. Аронбаев // *Universum: химия и биология*. – 2024. – № 4 (118). – С. 54–65.
2. Исследованы магнитные явления в нанокомпозитах // *Indicator.ru*. – URL: <https://indicator.ru/physics/magnitnye-yavleniya-v-nanokompozitah-17-01-2019.htm> (дата обращения: 22.02.2026).

УДК 531

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГИБКИХ ПОДЛОЖЕК В БИО-МЭМС

Студент гр. 11304124 Чернявский В. П.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Развитие имплантируемых датчиков и систем «орган-на-чипе» требует создания гибких подложек, минимизирующих механическое несоответствие с биологическими тканями. Ключевым требованием к таким материалам является биосовместимость в сочетании с эластичностью, технологичностью и возможностью интеграции в микросистемы. В данном обзоре рассматриваются современные полимерные материалы и подходы к их оптимизации для био-МЭМС.

Основополагающим физическим параметром, определяющим пригодность материала для гибких био-МЭМС, является его модуль Юнга (E). Для имплантируемых и носимых устройств критически важно, чтобы этот показатель был максимально близок к значениям, характерным для мягких биологических тканей (от единиц кПа для мозга до единиц МПа для мышечной ткани). Механическое несоответствие (mismatch) между жесткой подложкой и эластичной тка-

нюю является одной из главных причин хронического воспаления, образования фиброзной капсулы и отторжения имплантата, поэтому снижение модуля Юнга материала до физиологических значений – прямая стратегия повышения биосовместимости [1].

Управление газопроницаемостью и механическими характеристиками осуществляется через контроль плотности сшивки полимерной сети. Изменяя соотношение основы и отвердителя (например, для Sylgard 184 от 10:1 до 5:1) и температуру полимеризации (от комнатной до 125 °C), можно влиять на средний размер межузловых промежутков и, следовательно, на транспортные свойства материала. Ключевая инженерная задача здесь – найти баланс: снизить газопроницаемость, не потеряв эластичность, необходимую для работы интегрированных микронасосов и соответствия механике тканей [1]. Например, режим полимеризации 5:1 при 125 °C позволяет существенно уменьшить газообразование, сохраняя пригодность материала для долгосрочного клеточного культивирования [1].

Полидиметилсилоксан (ПДМС) остается «золотым стандартом» для гибких микрофлюидных чипов благодаря оптической прозрачности, простоте мягкой литографии и эластичности, позволяющей интегрировать микронасосы [1]. Однако его высокая газопроницаемость требует оптимизации состава. Исследования показывают, что стандартное соотношение компонентов (10:1 при 75 °C) не является оптимальным; использование режима 5:1 при 125 °C снижает газообразование, сохраняя биосовместимость материала, подтвержденную долгосрочным культивированием клеток BeWo b30 и EA.hy926 [1].

Параллельно развиваются направления создания новых биоадгезивных материалов для надежной фиксации имплантатов и раневых покрытий [2]. Активно исследуются композитные материалы и биочернила для 3D-биопринтинга, позволяющие создавать каркасы с контролируемой архитектурой для инженерии костной, хрящевой и сосудистой тканей [2]. Важным трендом является разработка наноструктурированных биопокрытий для медицинских устройств и имплантатов, обладающих противомикробными свойствами и улучшающих биоинтеграцию [2]. Для создания функционально-градиентных структур, например, для сосудистых трансплантатов, применяются методы электроспиннинга и плазменной обработки, позволяющие изменять свойства материала по глубине [2].

Таким образом, современные исследования направлены не на поиск единственного идеального материала, а на тонкую настройку свойств существующих полимеров (ПДМС) и создание гибридных и композитных систем. Перспективным является сочетание преимуществ эластомеров с биологической активностью гидрогелей и прочностью биоактивных керамических и полимерных композитов [2]. Дальнейшее развитие био-МЭМС будет связано с интеграцией наноматериалов и аддитивных технологий для создания персонализированных имплантатов и multifunctional систем «organ-on-a-chip» [1, 2].

Литература

1. Оптимизация газопроницаемости микрофлюидных чипов из ПДМС для моделирования органов-на-чипе / И. А. Хаустов, Ю. А. Сафронова, О. Е. Чеботарева [и др.] // Биотехнология. – 2024. – Т. 40, № 5. – С. 62–69.
2. Biomaterials 2021: Future of biomaterials / H. S. Nanda, V. Thomas, S. P. Nukavarapu [et al.] // Current Opinion in Biomedical Engineering. – 2021. – Vol. 20. – Art. 100342.

УДК 543.544.5

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Студент гр. 11304124 Чимбур А. С.

Кандидат техн. наук., доцент Колонтаева Т. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель этой работы – исследование физико-химических механизмов разделения веществ в условиях высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и анализ перспектив применения нанотехнологических решений в данной области. В ходе исследования изучены теоретические модели межфазного распределения компонентов, механизмы сорбции и влияние параметров микрофлюидики на эффективность аналитического процесса [1–3].

В своей сути метод хроматографического является процессом многократного разделения многокомпонентных смесей между неподвижной и подвижной фазой. Неподвижная фаза – это вещество, которое неподвижно закреплено внутри колонки. Именно с ней взаимодействуют молекулы образца, замедляя свое движение. А подвижная фаза представляет собой жидкость или газ, которая под высоким давлением прокачивается через хроматографическую колонку, перенося компоненты смеси к детектору, так же ее называют элюент. Физико-химическая сущность этого процесса заключается в различии скоростей перемещения молекул в зависимости от их принадлежности к фазам, что определяется характеристиками термодинамического взаимодействия. В современной науке выделяют различные виды хроматографии, классифицируемые по агрегатному состоянию фаз, такие как газовая и жидкостная, а также по механизму взаимодействия: адсорбционная, ионообменная, эксклюзионная и аффинная. Жидкостная хроматография занимает доминирующее положение в анализе биологических систем, так как позволяет работать с термолабильными и высокомолекулярными соединениями в стабильных температурных условиях. Жидкостную хроматографию, в свою очередь, можно разделить в зависимости от агрегатного состояния неподвижной фазы на твердо-жидкофазную (ТЖХ), где неподвижная фаза твердая и жидко-жидкофазную хроматографию (ЖЖХ), при которой неподвижная фаза жидкая. ЖЖХ часто называют распределительной хроматографией [1, 2].

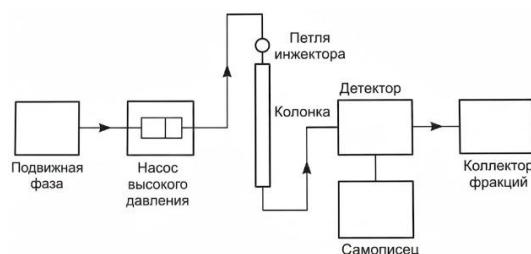


Рис. 1. Принципиальная схема системы ВЭЖХ

Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) является технологическим развитием классической ЖХ, являясь одним из самых эффективных методов анализа и разделения сложных смесей, включая высокомолекулярные и термолабильные структуры, не поддающиеся анализу газохроматографическими методами. Метод требует использования мелкозернистых сорбентов размером частиц до 1,8 мкм, что требует применения высокого давления для обеспечения движения элюента [3].

Математически эффективность процесса описывается уравнением Ван-Деемтера (1), связывающим высоту теоретической тарелки (H) со скоростью потока (u):

$$H = A + \frac{B}{u} + Cu. \quad (1)$$

Литература

1. Сумм, Б. Д. Основы коллоидной химии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б. Д. Сумм. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.
2. Хроматография // ru.wikipedia.org. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хроматография> (дата обращения: 23.02.2026).
3. Яшин, Я. И. Газовая хроматография / Я. И. Яшин, Е. Я. Яшин, А. Я. Яшин. – М.: Транслит, 2009. – 528 с.

УДК 608.2

КСЕНОБОТЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Студент гр. 11304124 Чимбур А. С.

Кандидат техн. наук., доцент Балохонов Д. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Ксеноботы представляют собой искусственно созданные синтетические организмы, не имеющие природных аналогов. Впервые они были представлены в 2020 году как результат совместной работы биологов из Университета Тафтса и программистов из Университета Вермонта. Как правило, их создание осуществляется из эмбриональных клеток африканской шпорцевой лягушки.

Процесс разработки ксеноботов начинается с компьютерного моделирования: алгоритмы искусственного интеллекта анализируют множество возможных конфигураций, отбирая наиболее оптимальные для выполнения конкретной задачи [3]. Например, для перемещения в жидкости оптимальной оказалась форма, напоминающая крошечный мешок с ложноножками. После цифрового отбора биологи вручную собирают выбранные структуры под микроскопом, это довольно долгая и кропотливая работа, ведь все клетки с помощью микроинструментов аккуратно соединяют воедино, а затем помещают в питательную среду, где они самоорганизуются в финальную форму. Особенность ксеноботов в том, что для них не модифицируют ДНК исходного организма, работая только с физической организацией клеток, таким образом клетки сохраняют свою природную структуру, но благодаря новому расположению приобретают новые свойства [1].

Ксеноботы обладают рядом ценных свойств, например, регенерация (буквально в течении 24–48 часов ксенобот может восстановиться до исходного состояния), коллективный интеллект, адаптация к окружающей среде и поставленной им задаче, а также самовоспроизведение без утраты функциональности до 3–4 поколений. Именно эти свойства и позволяют им быть эффективными при обнаружении и устранении химических веществ, но эти же характеристики создают и проблемы, такие как: неконтролируемое самопроизвольное размножение, неопределенный статус гибридных организмов, этические вопросы по отношению к ним и так далее. Решением большинства этих проблем является тщательная подготовка мер предосторожности, включая создание встроенных механизмов ограничения жизнедеятельности. Эти системы позволяют при необходимости активировать самоуничтожение ксеноботов, предотвращая их неконтролируемое распространение. Дополнительную защиту обеспечивает специально разработанная система жизнеобеспечения, таким образом созданные ксеноботы зависят от уникальных питательных веществ, которые не встречаются в естественной среде. Это создает естественный барьер для их выживания за пределами лабораторных условий [3].

Сфера потенциального применения этих микроскопических организмов чрезвычайно широка, они могут быть использованы для очистки океана от микропластика, для медицинских нужд или для создания биокомпьютеров. Однако, одним из наиболее перспективных направлений для микро- и нанотехники является их применение для обнаружения химических веществ. Благодаря своей биологической природе, ксеноботы обладают естественной чувствительностью к химическому составу окружающей среды [3]. Они могут быть разработаны таким образом, чтобы менять цвет, скорость движения, либо даже траекторию при контакте с определенными молекулами. В отличие от неорганических сенсоров, которые со временем загрязняются и выходят из строя, клетки ксеноботов обладают встроенными механизмами гомеостаза (способность живых организмов поддерживать постоянство внутренней среды) и они могут дольше иных сенсоров функционировать в сложных биологических средах, например, внутри человеческого тела. Но все-таки самое большое преимущество перед неорганическими датчиками – это способность к анализу сложных смесей. Ксеноботы воспринимают не просто наличие химического элемента, но и его функцию в окружающей среде. Клетки лягушки умеют различать токсины даже в ничтожных концентрациях, из-за чего способны более тонко находить активные вещества, на которые пластиковый сенсор просто не отреагирует [2].

Уже сейчас разрабатываются ксеноботы из клеток самого человека (например, из эпителиальных клеток), что может позволить использовать их в медицине без риска отторжения иммунной системой. В экологии такие организмы смогут находить и нейтрализовывать разливы нефти или микропластик в океане, определяя химические маркеры загрязнителей. В скором времени вместо простой реакции на раздражитель, в скором времени ксеноботы научатся запоминать химические сигналы и обмениваться информацией друг с другом. Это позволит им не просто обнаружить вещество, но и оценить его концентрацию на большой территории, а также составить химическую карту местности.

Литература

1. A scalable pipeline for designing reconfigurable organisms / S. Kriegman, D. Blackiston, M. Levin [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. – 2020. – Vol. 117, № 4. – P. 1853–1859.
2. A cellular platform for the development of synthetic living machines / D. Blackiston, E. Lederer, S. Kriegman [et al.] // *Science Robotics*. – 2021. – Vol. 6, № 52. – Art. eabf1571.
3. Ксеноботы: первые живые роботы из клеток лягушки // Mail.ru. – URL: <https://science.mail.ru/articles/2991-ksenoboty-pervye-zhivye-roboty-iz-kletok-lyagushki/> (дата обращения: 22.02.2026).

УДК 621.3.049.7

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С АДГЕЗИЕЙ
В КРЕМНИЕВЫХ МЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯХ**

Студент гр. 11304124 Чимбур А. С.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Щербакова Е. Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) являются фундаментом современной высокочастотной электроники, систем беспроводной связи и прецизионной сенсорики. Однако переход от макроскопических механизмов к структурам микронного масштаба сопровождается радикальным изменением баланса физических сил, действующих на устройство. Для кремниевых МЭМС-переключателей с подвижными элементами основной критической проблемой является адгезия (stiction) – спонтанное и зачастую необратимое слипание функциональных поверхностей. Данное явление обусловлено тем, что силы поверхностного взаимодействия начинают превалировать над объемными силами инерции и восстанавливающими силами упругости конструкционных материалов, что приводит к деградации характеристик или полному отказу устройства [1].

Физическая природа адгезии в кремниевых структурах в основном заключается в капиллярных силах, возникающих вследствие конденсации паров воды в узких зазорах между контактами. Согласно уравнению Кельвина, при высокой относительной влажности происходит образование мениска жидкости, создающего отрицательное капиллярное давление. Это давление втягивает подвижный электрод в контакт с подложкой, а сила притяжения прямо пропорциональна поверхностному натяжению жидкости и косинусу угла смачивания [1].

При сокращении зазора до нанометрового уровня (менее 20 нм) в игру вступают дисперсионные силы Ван-дер-Ваальса, имеющие электромагнитную природу. Они возникают из-за флуктуаций электрических диполей атомов и молекул. Для плоскопараллельных поверхностей эта сила обратно пропорциональна третьей степени расстояния, что делает ее практически непреодолимой при прямом соприкосновении. Кроме того, серьезную проблему представляет электростатическая адгезия, вызванная накоплением паразитного объемного заряда (нежелательное скопление носителей заряда) в слоях диэлектрика (Si_3N_4 или SiO_2) под действием сильных электрических полей. Процессы инжекции заряда по механизму Френкеля-Пула приводят к возникновению притягивающего потенциала, который сохраняется даже после снятия управляющего напряжения. В совокупности эти факторы описываются выражением:

$$F_{adh} = F_{cap} + F_{vdw} + F_{el} , \quad (1)$$

где F_{cap} – капиллярная сила, F_{vdw} – сила Ван-дер-Ваальса, F_{el} – электростатическая составляющая.

Для борьбы с адгезией на этапе проектирования и производства применяются методы, направленные на снижение энергии поверхностного взаимодействия. Текстурирование поверхности (создание массива наностолбиков) позволяет уменьшить эффективную площадь контакта в сотни раз это пропорционально снижает силы Ван-дер-Ваальсового взаимодействия и вероятность образования сплошного водяного мениска.

Наиболее перспективным технологическим решением является химическая модификация поверхностей с использованием самособирающихся монослоев (SAM). В отличие от жидких смазок, SAM формируют сверхтонкие (1–2 нм) плотные структуры, которые ковалентно связываются с подложкой. Использование перфторированных соединений придает поверхности олеофобные и гидрофобные свойства, увеличивая угол смачивания до 110–115 градусов, что практически нивелирует капиллярную составляющую. В современных циклах производства предпочтение отдается газофазному осаждению, так как оно обеспечивает более высокую равномерность покрытия в глубоких зазорах по сравнению с жидкостными методами.

Дополнительно в качестве антиадгезионных слоев исследуются алмазоподобные углеродные пленки (DLC) и карбид кремния, обладающие высоким модулем Юнга и низкой поверхностной энергией. На этапе высвобождения структур критически важным является применение сушки в среде сверхкритического диоксида углерода, которая позволяет пройти критическую точку фазовой диаграммы без образования границы раздела фаз «жидкость–газ», тем самым полностью

исключая капиллярный разрушение структур. Комплексное сочетание данных методов позволяет создавать МЭМС-устройства с огромным количеством циклов работы, что необходимо для их промышленного внедрения [2].

Литература

1. Адгезия в микромеханических системах / А. Р. Бестугин, И. А. Кравцов, С. В. Яковлев [и др.] // Датчики и системы. – 2016. – № 1. – С. 5–9.
2. Xie, Y. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review / Y. Xie, Z. Sha, M. Yu // Journal of Plant Ecology. – 2008. – Vol. 1, № 1. – P. 9–23.
3. Maboudian, R. Surface processes in MEMS technology / R. Maboudian // Surface Science Reports. – 1998. – Vol. 30, № 6-8. – P. 207–269.

УДК 678-419

ОБЗОР И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ ПЛАТ

Студент гр. 11304125 Шарапа В. А.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Традиционное производство печатных плат (ПП) – это сложный, многоэтапный и зачастую экологически «грязный» субтрактивный процесс, основанный на травлении меди. Однако развитие аддитивных технологий в наши дни позволяет «выращивать» электронные устройства слой за слоем.

В основе 3D-печати электроники лежит принцип послойного нанесения материалов. Современные принтеры, предназначенные для этих целей, оснащены, как правило, двумя независимыми системами подачи материала: 1. Система подачи токопроводящего материала, где используются чернила или пасты на основе частиц серебра или других проводящих металлов. Отверждение (спекание) этого материала происходит под воздействием высоких температур (инфракрасное излучение). 2. Система подачи диэлектрического материала, где основа будущей платы, обладает свойствами, аналогичными эпоксидной смоле. Для ее отверждения применяется ультрафиолетовое (УФ) излучение. Оба материала подаются одновременно, что позволяет формировать сложную внутреннюю структуру платы слой за слоем [1].

Преимущества аддитивного производства печатных плат состоит в переходе от травления к печати, что дает ряд неоспоримых преимуществ и объясняет быстрый рост популярности технологии. Это:

- Экологичность и экономия материалов. В отличие от субтрактивного метода, при котором медь стравливается с подложки, 3D-печать наносит ровно столько материала, сколько необходимо для создания проводящего рисунка. Это практически безотходное производство.

- Сложность геометрии и кастомизация. Технология открывает возможности для создания плат со сложной трехмерной геометрией, нестандартных форм, гибких и изгибаемых структур, что невозможно в классическом производстве.

- Скорость прототипирования. Процесс от идеи (CAD-файла) до готового прототипа требует значительно меньше этапов. Это идеальный инструмент для быстрой проверки концепций перед запуском в полноценное серийное производство.

- Экономическая эффективность. Для малых серий, DIY-проектов и стартапов с ограниченным бюджетом 3D-печать является наиболее рентабельным способом получения готовых плат.

- Универсальность. Метод применим для изготовления практически любых типов плат: от простых односторонних до сложных многослойных и гибких.

В соответствии с классификацией ASTM выделяют семь категорий аддитивных технологий. Однако при производстве прототипов многослойных печатных плат 3–5 классов точности (по ГОСТ Р 53429-2009) наиболее востребованы две технологии: метод струйной печати (Material Jetting, MJ) и метод экструзии материала (Material Extrusion, ME), к которому относится и технология послойного наплавления (FDM).

Для соответствия этим классам точности 3D-принтеры должны обеспечивать жесткие параметры, такие как: минимальная ширина проводника/зазора: от 0,1 мм, толщина диэлектрического слоя: не более 200 мкм, точность позиционирования проводников: до $\pm 0,05$ мм [2].

Опишем процесс печати на примере технологии FDM (Fused Deposition Modeling), реализованной в принтерах типа DragonFly. Он состоит из следующих этапов: 1. Подготовка модели: Исходный 3D CAD-файл виртуально «расслаивается» программным обеспечением принтера. Модель разбивается на множество горизонтальных слоев заданной толщины по оси Z (толщина будущей платы). 2. Печать слоя: Принтер наносит материал текущего слоя, который состоит из участков диэлектрика и токопроводящих дорожек, согласно виртуальной модели. 3. Отверждение: После нанесения каждого слоя происходит его обработка для придания физических и электрических свойств. В принтере DragonFly для этого используются два инструмента: ИК-излучатель: для спекания (sintering) металлических частиц в токопроводящей пасте и УФ-излучатель: для мгновенной фотополимеризации диэлектрика. Шаги 2 и 3 повторяются для всех последующих слоев до полного завершения печати платы. Процесс спекания является критическим. В ходе него происходит изменение геометрических размеров напечатанных элементов, что необходимо учитывать при проектировании и настройке режимов печати.

Технологии 3D-печати печатных плат переходят из разряда экспериментальных в разряд практических инструментов производства. Они позволяют создавать сложные, многослойные и гибкие электронные устройства быстрее, дешевле и экологичнее, чем традиционные методы.

Литература

1. Шкуро, А. Е. Технологии и материалы 3D-печати: учеб. пособие / А. Е. Шкуро, П. С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – 90 с.
2. ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – М.: Стандартинформ, 2018. – 12 с.

**СЕКЦИЯ 4. ОПТИКА, ОПТОЭЛЕКТРОНИКА,
ЛАЗЕРНЫЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 681.722.25, 535.317.2

**МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПРИЗМЫ СВОБОДНОЙ ФОРМЫ В СРЕДЕ
ОПТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ZEMAX OPTICSTUDIO**

Магистрант Алешкевич К. В., аспирант Шанчук В. А.

Д-р техн. наук, профессор Артюхина Н. К.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современное развитие оптического приборостроения характеризуется переходом от классических компонентов к элементам со сложной геометрией поверхностей, известным как поверхности свободной формы (Freeform Surfaces) [1]. Призмы свободной формы представляют собой особый интерес, так как они позволяют совмещать функции перенаправления светового потока и коррекции изображения в одном элементе, однако их расчет и внедрение сталкиваются с проблемой высокой вычислительной сложности [2].

В настоящей работе рассмотрена методика оптимизации призмы с поверхностями свободной формы. Процесс оптимизации призмы включает в себя следующие ограничения [3]:

- 1) по углу полного внутреннего отражения (ПВО) (для полиметилметакрилата (ПММА) критический угол $\theta_c = 42,09^\circ$; операнды RAID, OPLT, OPGT, DIFF);
- 2) структурные, для сохранения призматической формы детали (операнды RAGY, RAGX, OPLT, OPGT, DIFF, GLCY, PMGT, PMLT, MNCG, MXCG, MNEG);
- 3) по основным параметрам (например, операнды EFFL, WFNO);
- 4) дисторсии (операнды DIMX, DISG) и др.

Так как симметрия в данной системе отсутствует, то она должна быть оптимизирована по всему полю зрения, дискретизированного в прямоугольной сетке, в отличие от линейной дискретизации в радиальном направлении в системе с вращательной симметрией.

В связи с низкой производительностью из-за высокой плотности дискретизации не рекомендуется производить оптимизацию сразу по всему полю. Вместо этого следует использовать стратегию оптимизации, при которой постепенно увеличивается количество полей по мере улучшения производительности системы.

На начальном этапе выбираются пять полей в вертикальном направлении с нулевым значением угла сагиттального поля. Важно оптимизировать систему, чтобы она соответствовала основным оптическим и физическим требованиям, таким как фокусное расстояние и условие ПВО. В этом случае в качестве переменных задаются кривизны поверхностей и конические постоянные. Повороты и смещения являлись варьируемыми в течение всего времени оптимизации.

После первого этапа оптимизации следует расширить полевые выборки, добавив часть углов поля в сагиттальном направлении, и перейти от стандартного типа поверхностей к поверхностям с четной асферикой (Even Asphere). К переменным параметрам добавляются коэффициенты асферизации.

На завершающем этапе поля по горизонтали расширяются до тех пор, пока максимальное поле не начинает удовлетворять необходимым требованиям, поверхности меняются на расширенные полиномиальные (Extended Polynomial), и затем система многократно оптимизируется до достижения необходимых качественных характеристик, с постепенным добавлением полиномов поверхностей в качестве переменных.

Предложенная методика базируется на подходе, изложенном в патенте [3], и адаптирована для реализации в среде оптического моделирования Zemax OpticStudio. Она позволяет существенно сократить вычислительные затраты и ускорить сходимость габаритных и абберационных параметров призмы к заданным значениям, обеспечивая высокую производительность процесса проектирования без потери точности коррекции aberrаций.

Литература

1. Freeform optics: introduction / K. Falaggis [et al.] // Optics Express. – 2022. – № 4. – P. 6450–6455.
2. Chen, Y. Design of free-form-surface prism in head mounted display / Y. Chen, T. Li, X. Qiu // Journal of Applied Optics. – 2009. – Vol. 30, № 4. – P. 552–557.
3. Патент US11300790B2. Optical see-through free-form head-mounted display: №16/541,929: filing date 15.08.2019: publ. date 12.04.2022 / D. Cheng, H. Hua, Y. Wang; applicant Arizona Board of Regents on Behalf of the University of Arizona.

УДК 623.467

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ

Магистрант Али-заде Э. Т.

Кандидат техн. наук, доцент Кузнецик В. О.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Наведение – это процесс изменения траектории управляемой ракеты, направленный на уменьшение расстояния между ней и целью.

Различают системы автономного наведения, само- и теленаведения. Системы автономного наведения отличаются тем, что координаты цели определяются заранее и в процессе наведения для компенсации начальных ошибок и текущих возмущений используются только измерения абсолютных координат ракеты. В системах самонаведения относительные координаты цели измеряются устройством, установленным непосредственно на борту ракеты – головкой самонаведения. В системах теленаведения абсолютные или относительные координаты ракеты и цели измеряются с некоторой вынесенной точки, по ним оценивается текущий пролет и формируется сигнал, который передается через линию связи в качестве заданного управления на ракету [1].

Одним из первых методов наведения является ручное командное наведение, метод управления, где оператор визуально сопровождает цель и вручную корректирует полет (обычно с помощью джойстика). Управление снарядом осуществляется по кабелю оператором вручную (рис. 1, а).



а



б



в

Рис. 1. Методы наведения: ПТРК «Малютка» управление по кабелю (а); ПТРК «Фагот» полуавтоматическое наведение (б); ПТРК «Корнет» лазерное управление (в)

Преимуществом данного типа метода наведения является нечувствительность к средствам РЭБ. Недостатками является необходимость постоянного наблюдения оператором как цели, так и снаряда, что делает его уязвимым во время использования комплекса, снижение точности наведения за счет ручного управления. Также оператор должен быть достаточно квалифицирован.

Полуавтоматическое командное наведение (рис. 1, б). Метод заключается в сопровождении цели оператором и автоматическое удержание снаряда на линии визирования без использования ручного управления. В задней части снаряда установлена лампа-фара, излучение которой фиксируется прибором наведения. Преимуществами такого принципа управления является повышенная точность наведения за счет уменьшения влияния человеческого фактора, простота обучения. Недостатками также является уязвимость оператора и необходимость прямой видимости цели.

Лазерная полуактивная система наведения – это технология, использующая лазерный целеуказатель для подсветки цели (с носителя или наземным наводчиком) и ГСН для фиксации на отраженном лазерном пятне (рис. 1, в). Лазерный целеуказатель формирует пучок модулированного излучения, который после отражения от цели фиксируется ГСН снаряда, который определяет положение отраженного пятна и формирует команды для управления аэродинамическими рулями. Преимуществами такого метода является высокая точность, универсальность применения за счет возможности установки ГСН на большое количество возможных носителей, безопасность использования. Недостатками является необходимость постоянной подсветки цели и снижение эффективной дальности эксплуатации за счет плохих метеоусловий.

Полностью автоматическое наведение может осуществляться за счет тепловизионных и видео головок самонаведения. Оба типа наведения работают за счет контраста цели относительно фона. В современных реалиях наведение осуществляется с использованием искусственного интеллекта.

Литература

1. Аранович, Г. П. Управление и наведение самолетов и ракет / Г. П. Аранович, Д. А. Михайлин. – М.: МАИ, 2013. – 27 с.

УДК 621.3.038.825.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ Nd:LaAl_{2.07}(B₄O₁₀)O_{0.6}

Учащиеся Ардашев В. С.¹, Полубок С. В.¹Кандидат физ.-мат. наук, доцент Горбаченя К. Н.²¹УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Разработка новых активных сред твердотельных лазеров ближнего инфракрасного диапазона является актуальным вопросом. Твердотельные лазеры на основе кристаллов с ионами редкоземельных элементов переживают мощный подъем в последнее время [1, 2]. В данной работе проведено исследование спектроскопических свойств кристаллов Nd:LaAl_{2.07}(B₄O₁₀)O_{0.6} (LABO).

Исследование абсорбционных свойств проводилось при использовании образцов кристаллов, изготовленных в виде полированных плоскопараллельных пластинок. Измерение производилось при комнатной температуре на двухлучевом спектрофотометре Cary 5000 в спектральной области 300–900 нм для. Измерение спектров люминесценции проводилось по методу синхронного детектирования. В качестве источника возбуждения люминесценции использовался полупроводниковый лазерный диод с волоконным выводом излучения на длине волны около 808 нм. Излучение лазерного диода фокусировалось на исследуемый образец. Излучение люминесценции собиралось на входной щели монохроматора МДР-23. Сигнал с фотоприемника обрабатывался синхронным усилителем. Измерения времени жизни проводились с использованием параметрического генератора света, накачиваемого третьей гармоникой Nd:YAG лазера, работающего в режиме активной модуляции добротности. Затухание люминесценции регистрировалось с помощью фотодиода InGaAs и цифрового осциллографа с частотой 500 МГц.

Спектр поглощения кристалла Nd:LABO, зарегистрированный в спектральной области 300–900 нм, представлен на рисунке 1. Максимальные значения коэффициента поглощения на длине волны 803 нм достигает 3,5 см⁻¹, полуширина указанной полосы составляет 19 нм.

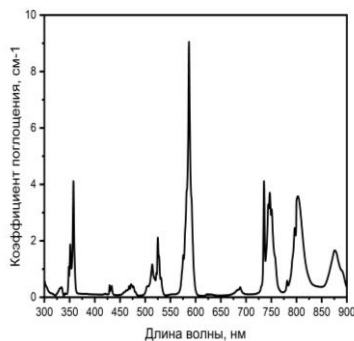


Рис. 1. Спектр поглощения

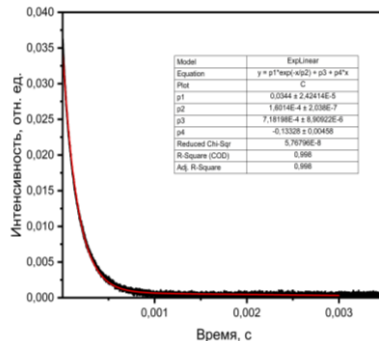


Рис. 2. Зависимость затухания люминесценции

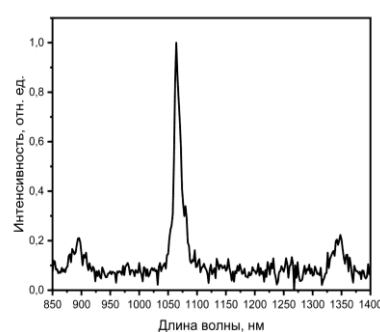


Рис. 3. Спектр люминесценции

На рисунке 2 представлена кинетика затухания люминесценции кристалла Nd:LABO, которая достаточно хорошо аппроксимируется моноэкспоненциальной функцией с постоянным временем 160 мкс. Спектр люминесценции кристалла Nd:LABO в неполяризованном свете в области около 1 мкм, измеренный при комнатной температуре, представлен на рисунке 3. В спектре наблюдаются три полосы люминесценции, соответствующие переходам $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$, $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ и $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$. Максимальное значение интенсивности люминесценции находится на длине волны 1064 нм, а ширина полосы на полувысоте составляет 13 нм.

Литература

- Кулешов, Н. В. Активные среды твердотельных лазеров: учеб.-метод. пособие по дисциплинам «Твердотельные лазерные системы» и «Теория и расчет лазеров» / Н. В. Кулешов, А. С. Ясюкевич. – Мн.: БНТУ, 2010. – 134 с.
- Кисель, В. Э. Твердотельные лазерные системы с продольной диодной накачкой на основе иттербий-содержащих кристаллов: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.05 / Кисель Виктор Эдвардович; Белорус. гос. ун-т. – Мн., 2021. – 283 л.

УДК 621.3.038.825.2

МАКЕТ КОМПАКТНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИСТОЧНИКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ В ОБЛАСТИ 1,5 МКМ

Учащиеся Батырев Р. Н.¹, Шабаев И. О.¹,Кандидат физ.-мат. наук, доцент Горбаченя К. Н.²¹УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Целью данной исследовательской работы являлась разработка макета компактного высокочастотного источника лазерного излучения с длиной волны в спектральной области 1,5–1,6 мкм для систем дальнометрии. Схема макета лазера представлена на рисунке 1.

В качестве источника накачки использовался лазерный диод с волоконным выводом излучения (длина волны 976 нм, диаметр волокна 105 мкм, числовая апертура 0,22), который обеспечивает неполяризованное лазерное излучение с максимальной выходной мощностью до 10 Вт. Фокусировка излучения лазерного диода осуществляется с помощью фокусирующей линзы ($f = 4,5$ мм), что позволяет сфокусировать излучение накачки в пятно диаметром 120 мкм. Активный элемент представляет собой кристалл Er,Yb:YAB с размерами $5 \times 5 \times 1,5$ мм. На одну из граней активного элемента было нанесено сепарирующее покрытие (HR ($R > 99,5\%$)@1531+/-5 нм + HT ($T > 95\%$)@976 нм). Для получения режима пассивной модуляции добротности, использовался насыщающийся поглотитель Co:MgAl₂O₄ с начальным пропусканием 99,5 % на длине волны 1530 нм. На одну из сторон насыщающегося поглотителя было нанесено покрытие выходного зеркала резонатора, обеспечивающее PR ($R = 97\%$)@1530+/-5 нм.

Разработана конструкторская документация на изготовление микрочип лазера. В конструкцию лазера входит медный корпус, внешний вид которого представлен на рисунке 2. Он представляет собой цилиндрическую деталь, внешний диаметр которой составляет 25,4 мм. На внешнем диаметре выполнена проточка, которая выполняет функцию теплоотвода. В корпусе выполнено сквозное отверстие диаметром 12,7 мм, необходимое для установки двух втулок: первая втулка предназначена для крепления коннектора SMA905 лазерного диода и фокусирующей линзы, вторая втулка используется для установки активного элемента и насыщающегося поглотителя. Втулка для крепления коннектора лазерного диода и фокусирующей линзы представляет собой цилиндрическую деталь, изготавливаемую из материала Д16Т, диаметром 12 мм с наружной резьбой для крепления коннектора SMA-905 лазерного диода и внутренней резьбой для установки фокусирующей линзы С340 с фокусным расстоянием 4,5 мм на расстоянии около 9 мм от выхода излучения из волокна. Втулка крепления чипа представляет собой медную цилиндрическую деталь диаметром 12 мм с выполненной проточкой диаметром 9 мм и глубиной 7 мм, куда устанавливаются активный элемент и насыщающийся поглотитель, которые закрепляются во втулке с помощью резьбового кольца.

После изготовления механических узлов проведена сборка и юстировка макета лазера. Получены лазерные импульсы с энергией 5 мкДж на длине волны 1 530 нм, их длительность составила 5 нс, а частота повторения 70 кГц.

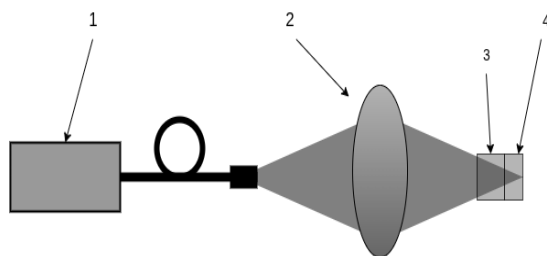


Рис. 1. Схема макета лазера:

1 – лазерный диод накачки; 2 – фокусирующая система;

3 – активный элемент лазера; 4 – насыщающийся поглотитель

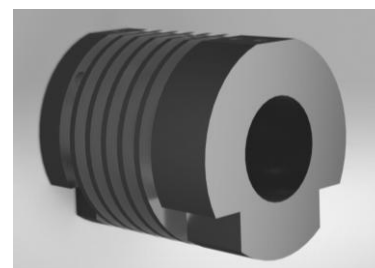


Рис. 2. Корпус лазера

Разработанный высокочастотный лазерный излучатель может быть применен в составе портативных лазерных дальнометров, работающих в безопасном для глаз спектральном диапазоне 1,5–1,6 мкм по методу накопления отраженных сигналов.

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Студент гр. 11311122 Бельский М. П.

Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Технология формообразование оптических деталей с осевыми и внеосевыми асферическими поверхностями (параболоиды, эллипсоиды, гиперболоиды) требует разработки индивидуального технологического процесса изготовления и контроля для каждой детали. Это объясняется многообразием конструктивных параметров деталей, технологичностью применяемого материала, необходимостью обеспечения заданной точности формы поверхности по общей (N) и местной (ΔN) ошибкам, по среднеквадратическому отклонению (СКО), отсутствием универсальной технологии и метода контроля асферических поверхностей (АП).

Производство оптических деталей состоит из двух этапов. На первом этапе формируется заготовка детали, то есть создается приближенная форма поверхности оптической детали. Данный этап характеризуется высокой скоростью удаления материала и шероховатой поверхностью с большой глубиной слоя приповерхностных дефектов (например, для шлифования свободным абразивом глубина составляет 1–10 мкм). На втором этапе – финишной обработке или полировка поверхности. Шероховатость и приповерхностные дефекты, которые образовались в результате первого этапа, должны быть уменьшены и при этом увеличивается точность формы и качество поверхности [1].

Технологический процесс производства оптических деталей включает в себя методы удаления материала и методы формирования формы поверхности. В большинстве случаев эти две составляющие взаимосвязаны.

В настоящее время наиболее часто используют следующие методы удаления материала: абразивом (отклонение формы 5–10 нм), магнитореологические, ионные (отклонение формы 3–5 нм).

Методы формообразования поверхности подразделяются на две категории: методы, основанные на копировании формы инструмента (контакт по площади, линейный контакт, точечный контакт между заготовкой и инструментом) и методы, базирующиеся на вычислении изменения поверхности (формообразование управляется с помощью специального программного обеспечения которое заставляет перемещаться малоразмерный полировальный инструмент по всей обрабатываемой поверхности и корректировать путь инструмента на основании циклов измерениями формы во время всего процесса).

Для контроля формы АП применяют координатно-измерительные машины (КИМ) и интерферометры.

На рис. 1 представлен вариант комбинированного метода формообразования АП на полировально-доводочном станке ПД и станке с ЧПУ, предназначенном для автоматизированной доводки АП малоразмерным инструментом методом многопозиционной локальной обработки.



Рис. 1. Блок-схема технологического процесса

Литература

1. Козерук, А. С. Технология оптического приборостроения / А. С. Козерук. – Мн.: БНТУ, 2016. – 504 с.

ДАЛЬНОМЕРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС

Учащиеся Букина М. А.¹, Горнак М. В.¹

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Горбаченя К. Н.²

¹УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Тема исследовательской работы посвящена актуальной задаче измерения дистанции между двумя объектами [1]. В настоящее время ее значимость в технике особенно возросла, что обусловлено необходимостью высокоточного позиционирования объектов в военном деле, навигации и геодезии. При этом в различных областях использования дальномеров постоянно ужесточаются требования к точности, предельной измеряемой дальности, скорости измерений, массе и габаритам аппаратуры. Так, на рынке гражданских дальномеров появились приборы, способные измерять расстояния до 200 м с погрешностью 1,5 мм. В военной области уже внедрены и используются дальномеры авиационного базирования с предельной измеряемой дальностью более 50 км.

Дальномерный лазерный комплекс предназначен для обучения учащихся и выполнения исследовательских работ по изучению принципов работы лазерных дальномеров и имитации процесса измерения дистанции. Лазерный комплекс построен на основе эрбиевого лазера с продольной диодной накачкой, позволяющего генерировать импульсное лазерное излучение в безопасной для органов зрения спектральной области около 1,5 мкм. В состав комплекса входят: лазерный излучатель, телескоп для уменьшения расходимости лазерного излучения, волоконно-оптическая линия задержки, приемный канал с высоким быстродействием и цифровой осциллограф. Волоконно-оптическая линия задержки имеет два канала различной нормированной длины, включает устройство регулировки коэффициента пропускания лазерного излучения для имитации потерь в атмосфере при измерении дальности. Конструкция научно-учебного лабораторного дальномерного лазерного комплекса обеспечивает возможность демонстрации схемы построения твердотельного лазера с продольной диодной накачкой, а также сборки и юстировки излучателя учащимися детского технопарка. Внешний вид дальномерного лазерного комплекса представлен на рисунке 1.

Лазер на основе эрбиевого стекла с продольной диодной накачкой имеет следующие выходные характеристики:

– рабочая длина волны, нм	1530–1540
– длительность импульсов лазерного излучения, нс	не более 10
– энергия в импульсе, мДж	не менее 0,5
– частота повторения импульсов, Гц	до 15
– пространственное качество пучка	TEM ₀₀ мода



Рис. 1. Внешний вид дальномерного лазерного комплекса

Литература

1. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие по курсам «Проектирование лазерных оптико-электронных преобразователей» и «Оптико-электронные приборы» / В. Б. Бокшанский [и др.]; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 92 с.

УДК 681.78

АХРОМАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТИВ-ДУБЛЕТ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

Ассистент Войтов А. С.

Кандидат техн. наук Егоренко М. П., кандидат техн. наук, доцент Ефремов В. С.

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия

Устойчивая тенденция к развитию беспилотных аппаратов приводит к уменьшению их габаритов для достижения минимальной заметности, в целях выполнения разведывательной деятельности. В связи с этим, необходимо усовершенствовать составные части беспилотного аппарата, в том числе и системы фото и видео фиксации. Для решения такой проблемы предлагается использовать жидкие линзы.

Жидкостный объектив-дублет – это оптический узел, который обеспечивает динамическое изменение фокусного расстояния без механического перемещения его составляющих. Такая особенность работы предоставляет дополнительную степень свободы разработчикам оптических устройств [1].

Жидкостные объективы-дублеты с регулируемым фокусным расстоянием используют различные жидкости: метанол, уксусная кислота, глицерин, изопропанол и другие. Как правило, это делается одним из двух способов: либо с использованием двух несмешивающихся жидкостей, либо с использованием мембраны, которая предотвращает смешивание.

Используя теорию подбора ахроматической пары [2], конструкция объектива-дублета предусматривает наличие двух камер, заполненных жидкостями. Первая камера будет содержать глицерин, характеризующийся показателем преломления 1,473 и коэффициентом дисперсии 66,4. Вторая камера будет заполнена изопропанолом, показатель преломления которого составляет 1,377, а коэффициент дисперсии – 53,8. Подвижная мембрана, расположенная в кольцевой диафрагме, служит для разделения этих жидкостей. Диафрагма, в свою очередь, собрана из кольцевого магнита и стального кольца, между которыми зажата силиконовая мембрана. Индукционная катушка установлена на внешней поверхности пластикового корпуса. Схематическое представление жидкостного объектива-дублета показано на рисунке 1 [3].

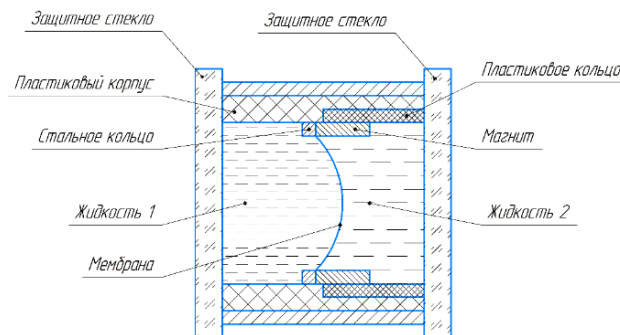


Рис. 1. Схема устройства объектива-дублета

Для эффективной работы объектива-дублета необходимо измерить его задний фокальный отрезок. В процессе снятия отчета выяснилось, что наибольшая погрешность измерения проявлялась при больших фокусных расстояниях.

В работе показана схема жидкостного объектива-дублета с электромагнитным приводом, который использует силу Лоренца для изменения радиуса кривизны эластичной мембраны, что, в свою очередь приводит к изменению фокусного расстояния. Полученная модель дублета может работать как с расходящимся, так и со сходящимся пучком лучей, в зависимости от полярности подаваемого напряжения, что и имеет относительно широкий диапазон фокусных расстояний [3].

Литература

1. Войтов, А. С. Разработка и исследование жидкостного объектива-дублета с электромагнитным приводом / А. С. Войтов, В. С. Ефремов // ГЕО-Сибирь-2024: сборник материалов XX Международного научного конгресса, 15–17 мая 2024 г. – Новосибирск: СГУГиТ, 2024. – Т. 8, ч. 1. – С. 53–56.
2. Войтов, А. С. Выбор параметров жидкостей для коррекции хроматизма в жидкостных объективах / А. С. Войтов, М. П. Егоренко, В. С. Ефремов // Оптический журнал. – 2025. – Т. 92, № 4. – С. 82–92.
3. Войтов, А. С. Жидкостный ахроматический объектив-дублет с электромагнитным приводом / А. С. Войтов // Системы анализа и обработки данных. – 2025. – № 4 (100). – С. 159–171.

ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО

Студент гр. 121831 Волкова А. О.

Кандидат техн. наук, доцент Погорелов М. Г.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Интерферометр Фабри-Перо предназначен для исследования тонкой структуры спектра оптического излучения [1].

При прохождении одного луча света через плоскопараллельную пластину он многократно отражается, образуя многолучевую интерференцию, при этом интерференционные полосы получаются четкими и яркими. Это основной принцип работы интерферометра Фабри-Перо.

На рисунке 1 два частичных зеркала G_1 и G_2 расположены параллельно друг другу, образуя отражательную полость. Когда монохроматический свет падает на отражательную полость под углом Θ , множество параллельных лучей, проходящих через полость, формируют прошедший свет. Оптическая разность хода двух соседних лучей равна:

$$\delta = 2 \cdot n \cdot d \cdot \cos \Theta. \quad (1)$$

Стенд на рисунке 2 объединяет интерферометр Майкельсона и интерферометр Фабри-Перо на одном квадратном основании, которое изготовлено из толстой стальной пластины и имеет прочную жесткую раму.

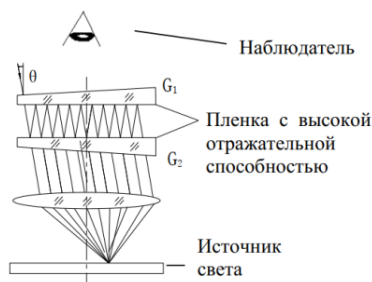


Рис. 1. Схема интерферометра Фабри-Перо

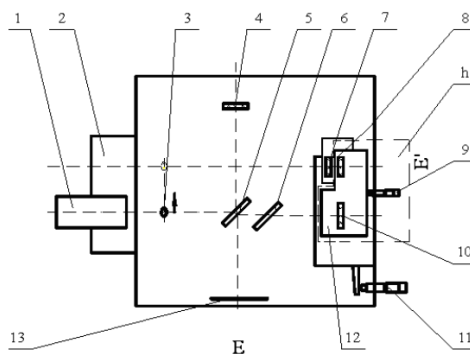


Рис. 2. Структура стенда:

- 1 – He-Ne лазер; 2 – боковой столик; 3 – расширитель пучка; 4 – неподвижное зеркало;
 5 – светоделитель; 6 – компенсаторная пластина; 7 – неподвижное зеркало интерферометра Фабри-Перо;
 8 – подвижное зеркало интерферометра Фабри-Перо; 9 – барабан микрометра (грубая регулировка);
 10 – подвижное зеркало; 11 – барабан микрометра (точная регулировка); 12 – подвижный столик зеркала;
 13 – матовый стеклянный экран

Сравнивая между собой интерференционные картины, наблюдаемые с помощью интерферометра Майкельсона и интерферометра Фабри-Перо, можно сделать вывод, что многолучевая интерференция значительно увеличивает резкость интерференционной картины. Высокая резкость интерференции в интерферометре Фабри-Перо позволяет использовать его как спектральный прибор высокой разрешающей способности.

Литература

1. Ахманов, С. А. Физическая оптика / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. – М.: Наука, 2004. – С. 656.

УДК 621.373.8

ВИКСЕЛОНИКА – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ

Студент гр. 11311124 Гайдукевич В. В.

Кандидат физ.-мат. наук Красовский В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Согласно [1], в середине 10-х годов по объему продаж полупроводниковые лазерные диоды уступили лидерство волоконным лазерам. Но следует заметить, что волоконные лазеры используются в качестве первичных источников накачки те же самые лазерные диоды.

Достоинством полупроводниковых лазерных диодов является непосредственная их накачка инжекционным током через p - n переход. Впервые генерацию на GaAs-диоде получил Р. Холл в 1962 г. Толщина активной области диода с гомогенным p - n переходом равна диффузионной длине носителей (несколько мкм), и для достижения инверсной заселенности нужна очень большая плотность тока. Диод быстро выходил из строя, хоть и охлаждался жидким азотом. По-настоящему работоспособными оказались только лазеры на основе двойных гетероструктур (ДГС), созданных в системе твердых растворов AlGaAs/GaAs Ж. И. Алферовым с сотрудниками в конце 60-х годов 20-го века (к настоящему времени освоен целый ряд многокомпонентных твердых растворов). Пространственное ограничение неравновесных носителей до нескольких долей мкм позволило на 2 порядка снизить пороговую плотность тока и получить генерацию при комнатной температуре. Активная область одновременно играет роль волноводного слоя для лазерного излучения. Уменьшение ее толщины с целью еще большего снижения порогового тока приводит к потере волноводных свойств. Проблема была решена созданием ДГС с раздельным ограничением, появились структуры с квантовыми ямами. Предельно низкие пороговые токи были достигнуты у лазеров с активными областями, состоящими из квантовых точек [2]. Полупроводниковые лазеры при их компактности имеют большую выходную мощность. Традиционно излучение выводится в плоскости эпитаксиальных слоев, с чем связана большая расходимость пучка по причине дифракции.

Молекулярно-пучковая эпитаксия позволила перейти к принципиально новой конструкции – поверхностно излучающему лазеру с вертикальным резонатором (VCSEL – рис. 1). Оптический резонатор образуют распределенные брегговские отражатели (DBR), выращиваемые в едином эпитаксиальном цикле. Такая конструкция позволяет получить симметричный пучок с малой расходимостью. Стало возможным создание интегральных оптоэлектронных микросхем. Аббревиатура LASER ныне общеизвестный термин, от VCSEL возник термин вискселоника [3].

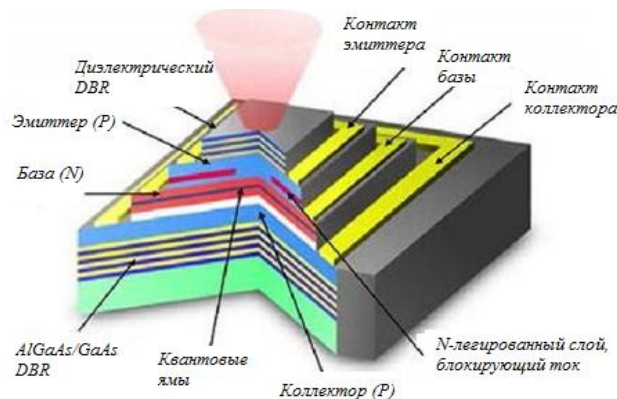


Рис. 1. Структура VCSEL

Литература

1. Игнатов, А. Г. Рынок лазеров и лазерных технологий обработки материалов / А. Г. Игнатов // РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. – URL: <https://ritm-magazine.com/ru/public/rynok-lazeroi-lazernyh-tehnologiy-obrabotki-materialov> (дата обращения: 12.02.2026).
2. Алферов, Ж. И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии (Нобелевская лекция) / Ж. И. Алферов // Успехи физических наук. – 2002. – № 9. – С. 1068–1086.
3. Белкин, М. Е. Вискселоника – новое направление оптоэлектронной обработки радиосигналов / М. Е. Белкин, В. Яковлев // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2015. – № 3. – С. 92–112.

УДК 681

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ СО СДВИГОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СИЛЬНО ФЛУОРЕСЦИРУЮЩИХ ОБРАЗЦОВ

Магистрант Гордейко Р. В.^{1,2}Д-р физ.-мат. наук, профессор Маляревич А. М.¹, кандидат физ.-мат. наук Шашков С. Н.²¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь²ООО «СОЛ инструментс», Минск, Беларусь

Получение высококачественных спектров комбинационного рассеяния (КР) света или рамановских спектров, по которым можно определить химический состав образца или провести количественную оценку наличия определенного материала в образце, остается одной из основных задач в прикладной спектроскопии. Одной из трудностей, возникающих в процессе регистрации спектров КР, является наличие флуоресцентного фона у некоторых видов образцов, который может затруднять регистрацию слабых рамановских сигналов.

В рамановской спектроскопии выбор длины волны возбуждения лазером (λ) является одним из наиболее важных факторов. Эффективность рамановского рассеяния пропорциональна λ^{-4} . Таким образом, комбинационное рассеяние на длине волны 532 нм в 16 раз эффективнее, чем на 1064 нм. Однако с более короткими длинами волн возбуждения (532 нм) сигнал флуоресценции намного сильнее чем, например, с $\lambda = 1064$ нм.

Рамановская дифференциальная спектроскопия со сдвигом возбуждения (Shifted Excitation Raman Difference Spectroscopy, SERDS), известная также как дифференциальная рамановская спектроскопия со сдвигом спектра (Shifted Subtracted Raman Spectroscopy, SSRS), является новым методом в спектроскопии комбинационного рассеяния, в котором осуществляется эффективное подавление фоновой флуоресценции от образцов [1].

Данный метод основан на регистрации двух рамановских спектров исследуемого образца при немного отличающихся длинах волн возбуждения (длина волны излучения лазера сдвигается на небольшую величину). Спектр рамановского рассеяния зависит от длины волны возбуждающего лазера, а широкополосный флуоресцентный фон практически не зависит при небольшом изменении длины волны возбуждения. Фоновая флуоресценция, которая присутствует в обоих спектрах с одинаковой интенсивностью, при вычитании уничтожается. Пики КР, сдвинувшиеся из-за изменения длины волны лазера, образуют характерную структуру «плюс-минус» (производная пика), которую затем реконструируют в обычный спектр КР.

Как альтернатива изменению длины волны возбуждения, возможно использовать лазер с фиксированной длиной волны, но регистрировать фотоприемником с ПЗС матрицей пару спектров, слегка смещенных друг относительно друга по длинам волн (SSRS). Смещение спектров возможно осуществить как перестройкой дифракционной решетки по длинам волн, так и иными методами.

Для применения SERDS/SSRS метода на практике нами был разработан программный алгоритм. Данный алгоритм, реализованный на языке программирования Python, действует следующим образом: загружается исходный спектр, имеющий флуоресцентный фон (рис. 1, а); проводится процедура сглаживания спектра и оптимизация базовой линии (параметры для которых пользователь задает индивидуально); после чего спектр программно смещается по длинам волн на небольшое значение, задаваемое соответствующим коэффициентом. В результате появляется новый «виртуальный» спектр с небольшим сдвигом пиков.

При вычитании одного спектра из другого формируется разностный спектр (рис. 1, б), где флуоресценция компенсируется, а рамановские пики становятся отчетливо видны, принимая дифференциальную форму. Дифференциальный спектр легко конвертируется в обычный вид спектра КР с помощью интегрирования (рис. 1, в).

Преимуществом данного алгоритма является его быстроедействие, поскольку он позволяет не проводить повторную регистрацию сигнала, что сокращает общее время эксперимента и анализа спектральных данных.

Дифференциальная рамановская спектроскопия со сдвигом возбуждения используется для анализа сильно флуоресцирующих образцов (загрязненные вещества, полимеры и т. п.), когда обычная рамановская спектроскопия неэффективна.

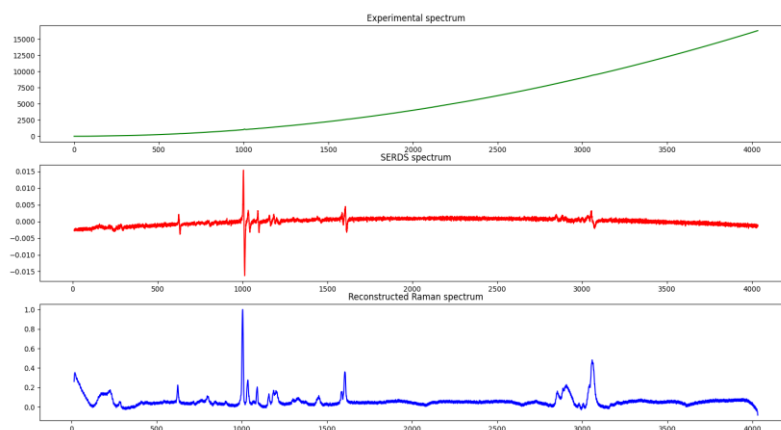


Рис. 1. Пример применения программного алгоритма для сильно флуоресцирующего образца (окрашенный полистирол):

а – рамановский спектр окрашенного полистирола с флуоресцентным фоном; *б* – спектр SERDS/SSRS (дифференциальная структура); *в* – обработанный вид спектра КР после интегрирования

Приведенные выше результаты позволяют получить «чистый» рамановский спектр образцов, которые ранее считались сложными или невозможными для анализа методом КР.

Литература

1. A shifted-excitation Raman difference spectroscopy (SERDS) evaluation strategy for the efficient isolation of Raman spectra from extreme fluorescence interference / M. T. Gebrekidan, C. Knipfer, F. Stelzle [et al.] // Journal of Raman Spectroscopy. – 2015. – Vol. 47, № 2. – P. 198–209.

УДК 528.714;528.854.4;551.593.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАСОК ОБЛАЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ RACE И SEN2COR

Защепко П. А.^{1,2}, Зайцева В. А.¹, Федорцев Р. В.²

¹ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Важным этапом атмосферной коррекции данных дистанционного зондирования Земли является формирование маски облачности и последующая дискретизация пикселей в условном кадре на ее основе. Рассматриваемый алгоритм атмосферной коррекции (АК) RACE формирует маску облачности на основе статического порога и спектров поглощения и пропускания воды [1]. В источнике [2] было выведено, что схожий по спектру и количеству каналов является космический аппарат (КА) Sentinel-2 со своим алгоритмом АК Sen2Cor. Данный алгоритм формирует свою маску облачности, которая имеет динамический диапазон вероятности содержания облачности в пикселе [3], которая создается следующим образом:

- по спектральному каналу В4 (665 нм) формируют первоначальную маску с яркими пикселями выше определенного порога альбедо ($> 0,07$) и присваивают всем прошедшим пикселям 100 % вероятность;
- разделяют яркие пиксели первоначальной маски на снежные и облачные при помощи индекса NDSI (формируют две отдельные маски);
- далее, по анализу отдельных каналов и их соотношений через установленные пороги, от первоначальной 100 % вероятности каждого пикселя отнимают рассчитанные доли;
- в конце формируется динамическая маска облачности, которая хранит вероятности содержания облачности в цветах серого предназначенная для классификации облачных пикселей.

Для определения точности формирования маски облачности алгоритма RACE было принято решение использовать данные Sentinel-2, а именно динамическую маску облачности Sen2Cor предназначенную для классификации облачных пикселей.

Определение точности. В качестве экспериментальных данных была взята сцена съемки космического аппарата Sentinel-2 уровня обработки L2A, а именно радиометрический полигон Baotou в автономном районе Внутренней Монголии, Китай. Площадь снимка составляет $20 \times 20 \text{ км}^2$, высота полета КА 786 км и дата съемки 30.07.2023 (рисунок 1).

На рисунке 2 представлена маска облачности кучевых облаков, сформированная алгоритмом AK RACE после обработки сцены Baotou.

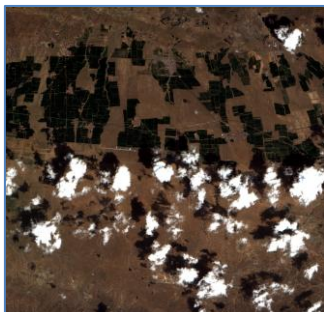


Рис. 1. Условный кадр (УК) Baotou (Внутренняя Монголия, Китай) 30.07.2023 (RGB изображение)

Облачность в пикселе помечается одним значением яркости из диапазона 8 bit в зависимости от высоты и вероятности облачности (статичный параметр порога облачности и снега) [1]. На маске пиксель хранит 160 ступеней для облачных пикселей, 128 ступеней для перистых пикселей и 255 ступеней для снежных пикселей. В данном случае облачность помечается как с 100 % (160 ступеней) вероятность содержания облаков в пикселе с отбрасыванием иных значений.

Алгоритм атмосферной коррекции Sen2Cor формирует динамическую маску облачности, представленную как изображение в градациях серого на рисунке 3. Она предназначена для дальнейшей классификации пикселей условных кадров по вероятностям облачности (60 % – средняя и 90 % – высокая).

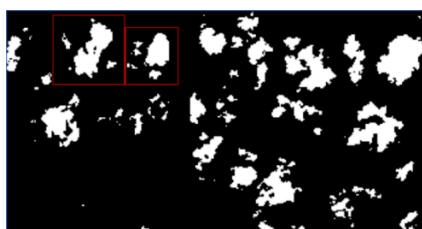


Рис. 2. Маска облачности RACE (Cloud_R3)

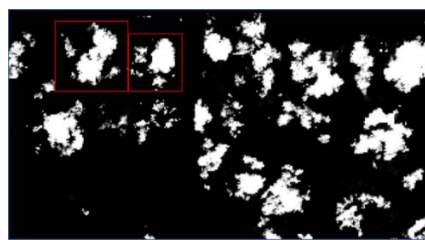


Рис. 3. Маска облачности Sen2Cor (Cloud_S2C)

Сам алгоритм создания маски облачности для данных Sentinel-2 использует связь и отношения множества спектральных каналов для формирования значения облачности в пикселе. После расчетов в пикселе маски заносится значение от 0 до 100 % (% вероятности проявления облачности) [3].

Разностная картина масок облачности Cloud_R3 и Cloud_S2C представлена на рисунке 4. Из-за различий в процессе формирования масок облачности алгоритмов атмосферной коррекции RACE (статическая маска) и Sen2Cor (динамическая маска) возникает градиент

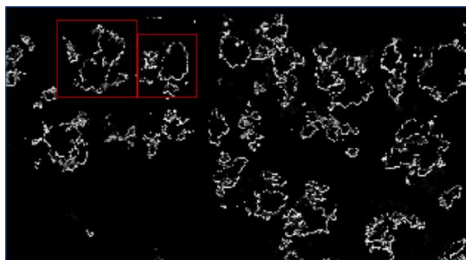


Рис. 4. Модуль разности изображений Cloud_R3 и Cloud_S2C

Детализация облачности в приближении (красные рамки) из рисунков 2–4 представлена на рисунке 5. На изображениях видны различия по краям облачности из-за содержания вероятностных значений в маске Sen2Cor.

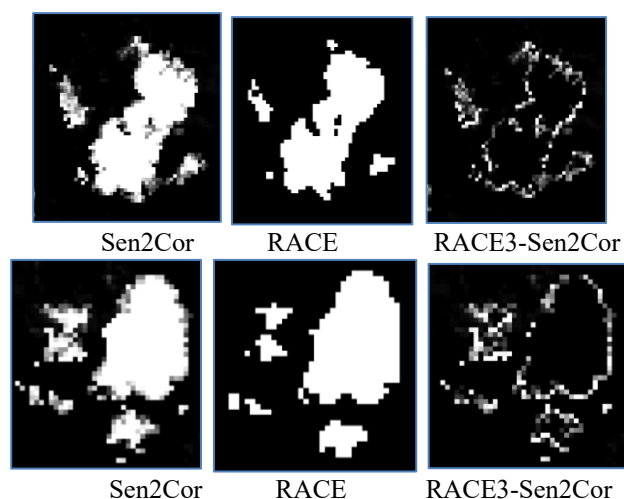


Рис. 5. Приближение облачности (красные рамки)

Гистограмма разностной картины в логарифмической шкале по оси Y представлена на рисунке 6.

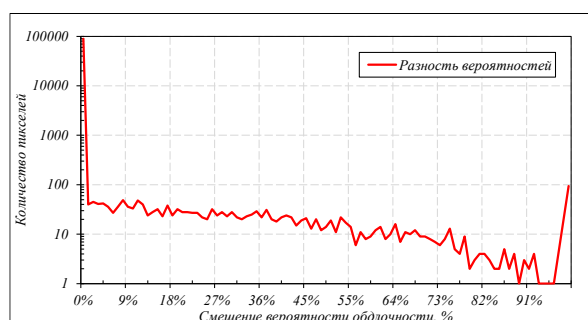


Рис. 6. Гистограмма разностной картины вероятностей в УК

Для определения точности было принято решение разделять и округлять до 100 % пороги вероятности маски облачности Sen2Cor как представлено в таблице 1 и рассчитывать точность совпадения и промахов облачности для маски RACE соответственно. Это позволит решить проблему с краевыми различиями масок облачности.

Таблица 1 – Точности распознавания облачности RACE относительно Sentinel-2

Критерии \ Вероятность по Sen2Cor	1–100	20–100	40–100	60–100	80–100	90–100	95–100	99–100
Вероятность совпадения облачности, %	52,8	71,6	75,3	78,9	82,7	85,2	86,7	88,3
Точность определения Земли, %	99,9	99,8	99,7	99,3	98,8	98,4	98,2	98,0
Промахи облачности, %	47,8	29,6	27,7	27,7	30,7	33,5	35,4	37,2
Количество облачных пикселей в УК, %	15,2	11,2	10,4	9,5	8,5	7,8	7,5	7,1

График по данным из таблицы 1 представлен на рисунке 7.

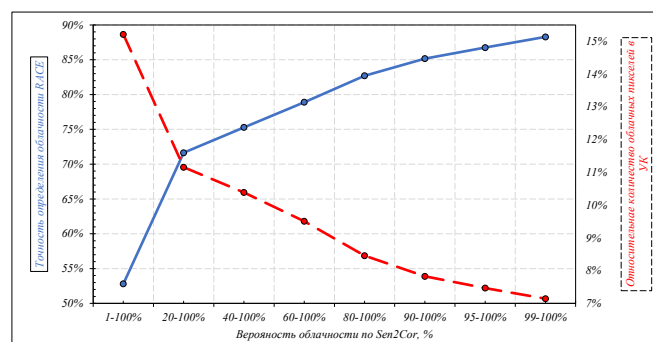


Рис. 7. График точности определения облачности по RACE относительно Sen2Cor

В соответствии с [2], классификатор Sentinel-2 выделяет облачность с вероятностью 60 %. Таким образом, если взять за действительное значение облаков с данной вероятностью и выше, точность определения облачности алгоритмом атмосферной коррекции RACE будет составлять от 78,9 % и выше с увеличением порога вероятности содержания облачности в пикселе Sen2Cor. Для порога 60 % соответствует 9,5 % содержания облачности в УК, что соответствует метаданным Sentinel-2.

Точность определения облачных пикселей алгоритма атмосферной коррекции RACE относительно данных Sentinel-2 составляет 78,9 % и выше в зависимости от вероятности содержания облаков в пикселе определяемом Sen2Cor, что является хорошим результатом для алгоритма со статическим параметром порога определения облачности. В дальнейшем имеется возможность учета пикселей с низким содержанием облаков в алгоритме атмосферной коррекции RACE.

Литература

1. A robust atmospheric correction procedure for determination of spectral reflectance of terrestrial surfaces from satellite spectral measurements / I. L. Katsev, A. S. Prikhach, E. P. Zege [et al.] // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13, № 9. – Art. 1831.
2. Защепко, П. А. Оценка абсолютной погрешности модуля атмосферной коррекции RACE по космическим снимкам со спутников Sentinel-2 / П. А. Защепко, В. А. Зайцева, Р. В. Федорцев // Фотоника. – 2025. – Т. 19, № 4. – С. 312–323.
3. Pignatale, F. C. Sen2Cor 2.12.03 Configuration and User Manual / F. C. Pignatale. – 2024. – 45 с.

УДК 621.38

СОВРЕМЕННЫЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ

Студент гр. 11311122 Зубко Н. В.

Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях современного развития высокоточного вооружения оптические устройства наведения на цель занимают критически важную позицию в области управления оружием. В отличие от радиолокационных систем, оптические каналы наведения обладают пассивным режимом работы, что обеспечивает скрытность применения и высокую устойчивость к средствам радиоэлектронного подавления. Однако эффективность данных систем напрямую зависит от атмосферных условий и качества аппаратной реализации сенсорных модулей.

Современные оптические системы наведения подразделяются на три основных класса. Первую группу составляют телевизионные системы, работающие в видимом диапазоне спектра. Они обеспечивают высокую детализацию изображения при достаточном уровне освещенности, однако их функциональность ограничена в ночное время и при наличии визуальных помех. Вторую группу представляют тепловизионные системы, регистрирующие собственное тепловое излучение объектов в инфракрасном диапазоне. Ключевым параметром эффективности данных устройств является чувствительность к разнице температур (NETD), позволяющая выявлять цели на фоне окружающей среды независимо от времени суток. Третью группу формируют лазерные системы наведения, включающие дальномеры и целеуказатели. В полуактивных лазерных системах головка самонаведения фиксирует отраженный от цели кодированный луч, что обеспечивает высокую точность попадания, но требует непрерывного подсвета цели до момента поражения. В состав оптико-электронной системы наведения входит телевизионный или тепловизионный канал и лазерный дальномер (рис. 1).



Рис. 1. Пример современной оптической системы наведения

Ключевым элементом любого оптического устройства наведения является система стабилизации линии визирования. Применение гироскопических датчиков угловой скорости и электро-механических приводов позволяет компенсировать вибрации и угловые колебания, вызванные

различными внешними факторами. Это обеспечивает удержание цели в поле зрения оптико-электронного модуля даже при движении опорно-поворотной платформы. Обработка видеосигнала осуществляется с помощью специализированных вычислительных модулей, реализующих алгоритмы цифрового улучшения изображения, компенсации шумов и автоматического распознавания контрастных объектов. Важным аспектом является интеграция нескольких спектральных каналов в единый прицельный комплекс, что позволяет оператору или бортовой системе выбирать оптимальный режим наблюдения в зависимости от внешних факторов и обстановки.

Основными факторами, снижающими дальность обнаружения и распознавания систем наведения, являются атмосферное поглощение и рассеивание излучения, рефракция и турбулентность (в зависимости от высоты), помехи от морских волн (засветка) для надводных целей. Туман, дым, осадки и пылевые взвеси существенно ослабляют инфракрасное и видимое излучение, что может привести к потере цели. Кроме того, лазерные каналы подвержены влиянию активных оптических помех и средств маскировки, снижающих контрастность теплового сигнала. Требуется прямая видимость между устройством наведения и целью, что ограничивает их применение за пределами прямой видимости.

Литература

1. Лазарев, Л. П. Оптико-электронные приборы наведения / Л. П. Лазарев. – М.: Машиностроение, 1989. – 512 с.

УДК 621.3.038.825.2

НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС

Учащиеся Исачкин Р. Д.¹, Сильвестрович М. О.¹

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Горбаченя К. Н.², кандидат физ.-мат. наук, доцент Федорцев Р. В.²,
д-р физ.-мат. наук, профессор Кисель В. Э.²

¹УО «Национальный детский технопарк», Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Тема исследовательской работы посвящена разработке научно-учебного лабораторного лазерного комплекса на основе кристалла иттрий-алюминиевого граната, легированного ионами Nd^{3+} (Nd:YAG). Со времени своего создания лазеры на основе кристалла Nd:YAG являются одними из наиболее широко применяемых в науке и технике. Популярность этого типа лазеров обусловлена удачным сочетанием механических, физических и спектрально-люминесцентных свойств активной среды, позволяющим реализовать практически все известные режимы генерации с хорошими выходными характеристиками излучения. Конструктивно лазеры на гранате с неодимом компактны и надежны. В последние годы практически все новые разработки лазеров и лазерных систем связаны с использованием диодной накачки, и в настоящее время происходит процесс замены традиционных твердотельных лазеров с ламповой накачкой на приборы нового поколения в промышленности, медицине и военной технике.

Научно-учебный лабораторный лазерный комплекс предназначен для обучения учащихся и выполнения исследовательских работ по изучению принципов работы и построения твердотельных лазеров с продольной диодной накачкой. В состав комплекса входят:

- Блок диодной накачки, имеющий возможность регулировки уровня выходной мощности лазерного диода, контроля температуры диода и активного элемента лазера, регулировки длительности и частоты следования импульсов излучения в импульсном режиме.
- Фокусирующая оптика для фокусировки излучения накачки в пятна различных размеров.
- Активная среда на основе кристалла иттрий-алюминиевого граната, легированного ионами Nd^{3+} для лазерной генерации на длине волны 1064 нм.
- Комплект пассивных затворов на основе кристалла Cr:YAG в количестве 3 шт. для управления выходными характеристиками лазера.
- Зеркала резонатора: входное зеркало 1 шт. и набор выходных зеркал с различным пропусканием в количестве 3 шт.
- Механические узлы для крепления и юстировки оптических элементов, входящих в состав комплекса.

Входящие в состав компоненты позволяют учащимся выполнять комплекс исследовательских работ, связанных с макетированием твердотельных лазеров с продольной диодной накачкой, работающих в различных режимах генерации.



Рис. 1. Внешний вид научно-учебного лабораторного лазерного комплекса на основе кристалла Nd:YAG

УДК 621.391.63

ЛАЗЕРНО-ЛУЧЕВОЙ КАНАЛ СВЯЗИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Магистрант гр. 140241/02 Карцев Н. С.

Кандидат техн. наук, зав. ЛИДПИ, СОиН Погорелов М. Г.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

В процессе автономной работы наземного робототехнического комплекса (РТК) возможна ситуация, когда необходимо произвести коррекцию его движения или передать сигнал управления на полезную нагрузку с наземного пункта управления (НПУ). Для этого могут быть применены различные каналы передачи информации, такие как передача управляющего сигнала по радиоканалу или сигнала по оптоволокну.

Главным недостатком данных способов связи является вероятность взлома и перехвата. Если между НПУ и РТК есть прямая видимость, то управление РТК можно реализовать с помощью лазерно-лучевого канала связи, который лишен данного недостатка.

Целью работы является разработка конструкции устройства, обеспечивающего помехозащищенный резервный лазерно-лучевой канал связи и передачу информации между наземным пунктом управления и мобильным робототехническим комплексом.

Разработанное устройство лазерно-лучевого канала связи состоит из приемника и передатчика (рис.1). Кроме лазера, передатчик включает в себя еще несколько звеньев [1], которые подготавливают электрический сигнал для передачи по оптическому каналу. Структурная схема передатчика включается в себя 5 модулей.



Рис. 1. Структурная схема передатчика

Принцип работы устройства заключается в следующем. Микроконтроллер считывает аналоговый сигнал с помощью АЦП, преобразуя напряжение, которое изменяется от 0 до 5 В в цифровое значение (от 0 до 1023). Значения АЦП преобразуются контроллером в последовательность импульсов, которая направляется на модулятор. Модулятор прибавляет в сигнал постоянную составляющую, формируя нулевое значение для приемника оптического сигнала [2]. После модуляции сигнал отправляется на усилитель, роль которого заключается в усилении тока микроконтроллера до порогового тока, необходимого для работы лазера.

В качестве приемника, лазерного излучения, в работе предлагается использовать фотоэлектрический солнечный модуль, который чувствителен к свету. Структурная схема приемника (рис. 2) включает в себя 5 модулей.

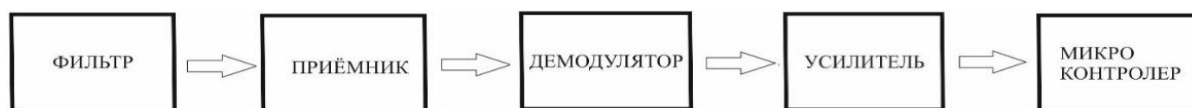


Рис. 2. Структурная схема приемника

В ходе проведенных исследований, сформирована методика подбора светофильтра. Разработан алгоритм передачи команд управления и проведены экспериментальные исследования на макетном образце лазерного лучевого канала связи мобильных РТК.

Литература

1. Нефедов, В. И. Основы радиоэлектроники и связи: учебное пособие / В. И. Нефедов, А. С. Сигов; под ред. В. И. Нефедова. – М.: Высшая школа, 2009. – 735 с.
2. Хорвиц, П. Искусство схемотехники / П. Хорвиц, У. Хилл. – М.: Книга по требованию, 2024. – 600 с.

УДК 621.384.3

МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ЭФФЕКТА НАРЦИССА

Магистрант Кирикович В. А.

Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Эффект Нарцисса – это паразитное явление, характерное для инфракрасных оптических систем, использующих охлаждаемые фотоприемные устройства (модули), когда охлажденный детектор «видит» собственное отражение от поверхностей линз или других элементов системы (рис. 1).

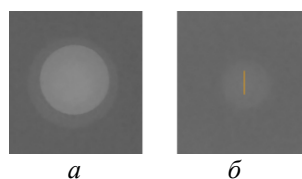


Рис. 1. Изображение тепловизионного модуля:

а – до компенсации эффекта нарцисса; б – после компенсации эффекта нарцисса

Наличие этого эффекта приводит к появлению на изображении пятна или кольца в центре кадра, которое накладывается на полезное изображение и значительно снижает качество изображения.

В охлаждаемых тепловизионных модулях приемное устройство обычно охлаждается до криогенных температур (70 К), чтобы минимизировать собственный тепловой шум. Оптические элементы (линзы объективов) и механические детали (корпус) приборов имеют собственную температуру отличную от температуры окружающей среды.

Эффект Нарцисса возникает из-за того, что просветляющие покрытия не могут полностью устранить отражение от поверхностей линз. Тепловое излучение от охлажденного приемного устройства попадает на поверхность линзы и частично отражается обратно на детектор. Поскольку детектор «холодный», он регистрирует это отражение как сигнал низкой интенсивности. Это эквивалентно тому, что детектор принимает тепловое изображение самого себя, а не наблюдаемой сцены.

Для проектирования и оценки влияния эффекта Нарцисса используется количественный критерий – NITD (Narcissus Induced Temperature Difference). NITD показывает, какая кажущаяся разность температур вносится в изображение из-за паразитной засветки. Он рассчитывается как отношение теплового излучения, отраженного от конкретной поверхности обратно на детектор, к излучению самой сцены. Чем меньше это значение, тем лучше оптическая система подавляет паразитную засветку.

Борьба с эффектом Нарцисса ведется на этапе проектирования оптики и на этапе обработки сигнала.

На этапе проектирования стремятся минимизировать факторы, вызывающие отражение излучения обратно в детектор. К таким методам относятся: оптимизация кривизны линз (подбор радиусов поверхностей таким образом, чтобы отраженный пучок не фокусировался обратно на

приемник); наклон элементов (небольшой наклон плоских оптических компонентов (например, защитных стекол) для вывода отраженного излучения за пределы поля зрения детектора); совершенствование просветляющих покрытий (уменьшение коэффициента отражения поверхностей в рабочем диапазоне длин волн).

Если полностью устранить эффект конструктивно невозможно, применяется цифровая коррекция. Она особенно актуальна для систем с переменным фокусным расстоянием (вариообъективов).

Поскольку картина эффекта зависит от фокусного расстояния и дистанции фокусировки, для вариообъективов используется метод интерполяции. Создается набор базовых корректирующих кадров для нескольких положений объектива, а для промежуточных положений кадр вычисляется алгоритмически.

Эффект Нарцисса является критическим фактором, ограничивающим чувствительность охлаждаемых тепловизионных модулей. Понимание его физической природы позволяет разработчикам использовать современные методы анализа для оценки паразитных засветок еще на этапе проектирования. Комбинация оптических решений и цифровых алгоритмов коррекции позволяет эффективно подавлять этот эффект, обеспечивая высокую равномерность и четкость тепловизионного изображения.

Литература

1. Chrzanowski, K. Review of Thermal Imaging Technology / K. Chrzanowski. – Koczargi Nowe: Inframet White Paper, 2024. – 97 p.

УДК 776.42

ВИДЫ ДЕФЕКТОВ НА ФОТОШАБЛОНАХ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Студент гр. 11311222 Круковский В. А.^{1,2}

Инж.-констр. Нестерович А. Е.¹, инж.-констр. 1 кат. Рыбаченко В. Ю.¹,
гл. специалист – нач. лаборатории, Юдицкий В. А.¹, кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.²
¹ОАО «Планар», Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Интегральные микросхемы (ИМС) в настоящее время получили широкое применение во всех сферах современной электроники таких как: компьютерная техника, автомобильная промышленность, бытовая техника, медицинская техника, радиотехника и электроника и многие другие.

Производство ИМС является долгим и сложным процессом. Для изготовления несложной схемы, одна полупроводниковая пластина проходит около десятка основных операций. Одной из таких операций, помимо нанесения различных пленок, является фотолитография, а ее оптическим инструментом – фотошаблон (ФШ).

Качество ФШ отвечает за технико-экономические показатели всего производства ИМС: минимальные размеры элементов, их точность и воспроизводимость; конечная стоимость изделий, выраженная через трудоемкость и стоимость их проектирования, стоимость изготовления, контроля и процента выхода годных ИМС.

В виду дороговизны производства комплекта ФШ актуальной задачей является коррекция их дефектов, выявленных при контроле.

На рис. 1 представлена возможная классификация дефектов ФШ [1].

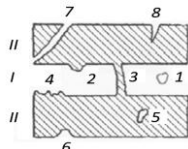


Рис. 1. Виды дефектов фотошаблона:

I – недотравы (дефекты на светлом поле); II – проколы (дефекты на темном поле); 1 – темная точка;
2 – краевой выступ; 3 – перемычка; 4 – неровность края; 5 – светлая точка; 6 – вырыв; 7 – разрыв;
8 – царапина

При изготовлении ФШ большое значение имеет процент выхода годных ФШ. При обнаружении дефектов на ФШ, они корректируются различными методами: лазерный метод ретуши светлого поля, ручную (если локальные дефекты достаточно большие и находятся на значительном расстоянии от элементов схемы) с помощью травителя (преимущественно для проекционных

фотошаблонов на основе хрома), метод локального лазерного переноса вещества (для устранения дефектов типа «прокол» и «вырыв»).

Для бездефектного изготовления ФШ применяются комплексы, в комплект которых входит лазерная система ремонта непрозрачных и прозрачных дефектов ФШ.

Перед вводом в эксплуатацию лазеров для установки ретуши осуществляется контроль ключевых характеристик излучения (рис. 2).

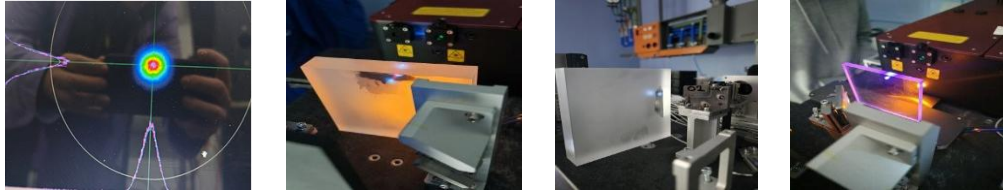


Рис. 2. Контроль параметров лазерного излучения

Литература

1. Лысенко, А. В. Возникновение дефектов при изготовлении фотошаблонов / А. В. Лысенко, Д. М. Никулин. – Новосибирск: СГУГТ, 2021. – 7 с.

УДК 535.374:535.345.1

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОРОГОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НАКАЧКИ В ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРАХ СВЕТА

Студент гр. 11311222 Курдюк А. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящей работе описаны алгоритмы расчетов величины волновой расстройки, обусловленной расходимостью пучка накачки, коэффициентов параметрического усиления при разных интенсивностях накачки и пороговых коэффициентов усиления в ПГС с однопроходной и двухпроходной схемой накачки [1]. Схема однорезонаторного однокристалльного параметрического генератора света с однопроходной схемой накачки показана на рис. 1.

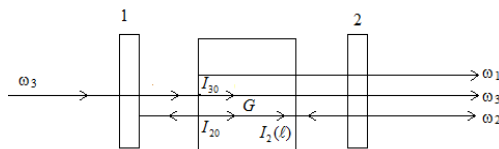


Рис. 1. Схема однорезонаторного ПГС с однопроходной схемой накачки

Пороговые условия генерации для сигнальной волны при однопроходной схеме накачке записываются в следующем виде:

$$G_{\text{пор}}^{(1)} \cdot (1 - \rho_2)^4 \cdot R_{22} \cdot R_{21} \geq 1, \quad (1)$$

где R_{21} – коэффициент отражения «глухого» зеркала, R_{22} – коэффициент отражения выходного зеркала, ρ_2 – потери на отражение от торца нелинейного кристалла.

Схема однорезонаторного однокристалльного параметрического генератора света с двухпроходной схемой накачки показана на рис. 2.

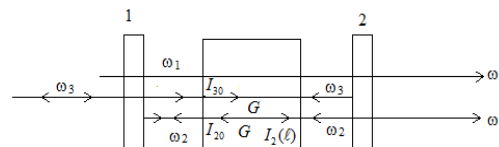


Рис. 2. Схема однорезонаторного ПГС с двухпроходной схемой накачки

Пороговые условия генерации для сигнальной волны при двухпроходной схеме накачки записываются в следующем виде:

$$[G_{\text{пор}}^{(2)}]^2 \cdot (1 - \rho_2)^4 \cdot R_{22} \cdot R_{21} \geq 1. \quad (2)$$

За один проход в нелинейном кристалле коэффициент параметрического усиления по мощности равен:

$$G_{eff} = \frac{I_2(l)}{I_{20}} = ch^2(g_{eff}l), \quad (3)$$

где l – длина нелинейного кристалла, I_{20} – интенсивность сигнальной волны с частотой ω_2 на входе кристалла, $I_2(l)$ – интенсивность усиленной волны с частотой ω_2 на выходе кристалла.

В условиях точного фазового синхронизма максимальный коэффициент параметрического усиления на единицу длины рассчитывают по формуле [2]:

$$g_0 = \sqrt{M \cdot I_{30}}, \quad (4)$$

где

$$M = \frac{8\pi^2 \cdot d_{eff}^2}{n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \varepsilon_0 \cdot c_0}. \quad (5)$$

При наличии волновой расстройки коэффициент параметрического усиления будет равен:

$$g_{eff} = g_0 \cdot sn[\Delta k \cdot l/2], \quad (6)$$

$$\text{где } sn[\Delta k \cdot l/2] = \left[\frac{\sin\left(\frac{\Delta k \cdot l}{2}\right)}{\frac{\Delta k \cdot l}{2}} \right].$$

Для расчета пороговой интенсивности накачки используем метод последовательных приближений. Вначале задаем малое значение интенсивности накачки I_{30} . Сравниваем полученное значение G_{eff} с рассчитанным значением $G_{пор.}$.

Случай 1. $G_{eff} < G_{пор.}$ Увеличиваем интенсивность накачки I_{30} и повторяем расчеты.

Случай 2. $G_{eff} > G_{пор.}$ Уменьшаем интенсивности накачки I_{30} и повторяем расчеты.

Случай 3. $G_{eff} \approx G_{пор.}$ Интенсивность накачки $I_{30} = I_{30 \text{ пор.}}$ Параметрического.

Литература

1. Прикладная нелинейная оптика / В. Г. Дмитриев, Л. В. Тарасов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 512 с.
2. Koechner, W. Solid-State Lasers / W. Koechner, M. Bass. – New York: Springer-Verlag, 2003. – 748 p.

УДК 535.374:535.345.1

БЛОК ГЕНЕРАТОРА ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ND:YAG И ND:YVO₄ ЛАЗЕРОВ

Студент гр. 513150 Липатников А. С.^{1,2}

Кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.², технический директор Гоман Д. А.¹

¹ЗАО «СЛС Прайм Технолоджи», Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Разрабатываемым устройством является преобразователь (удвоитель) частоты оптического излучения. Генераторы гармоник, основанные на нелинейно-оптических эффектах, позволяют эффективно преобразовывать длину волны исходного излучения за счет удвоения или утроения его частоты. Такие устройства, устанавливаемые после основного излучателя, например лазера типа Nd:YAG-лазер, обеспечивают расширение спектральных возможностей системы без изменения конструкции самого источника.

Компоновка разрабатываемого изделия включает в себя фазовращатель, расположенный на входе блока и предназначенный для преобразования поляризации входного лазерного излучения в требуемое состояние, необходимое для реализации заданного типа нелинейного взаимодействия в кристалле (рис. 1). Далее излучение с помощью поворотного зеркала направляется в нелинейный кристалл КТР, в котором осуществляется процесс удвоения частоты. Кристалл КТР в основном используется в качестве нелинейного кристалла для удвоения частоты твердотельного кристалла Nd:YAG или лазера на кристалле Nd:YVO₄, поскольку он имеет большие нелинейные оптические коэффициенты, широкую угловую полосу пропускания и малый угол отклонения, широкую температуру и спектральную полосу пропускания. Кристалл КТР также имеет высокий электрооптический (ЕО) коэффициент и низкую диэлектрическую проницаемость,

а также большую добротность, эти особенности делают его также широко используемым в электрооптических приложениях.

Для подавления основной волны и выделения излучения второй гармоники в конструкции предусмотрены три спектроделителя, обеспечивающие поэтапное отсечение излучения на основной длине волны и вывод полезного излучения вдоль исходной оптической оси. После первого спектроделителя установлена ловушка излучения, предназначенная для поглощения остаточной мощности основной волны и предотвращения ее дальнейшего распространения внутри блока. Перед выходным окном размещен измеритель энергии, обеспечивающий контроль параметров выходного излучения.

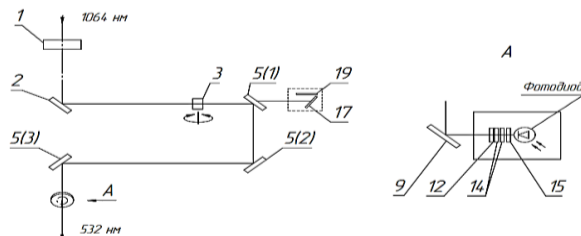


Рис. 1. Оптическая схема генератора второй гармоники:

1 – фазовращатель; 2 – зеркало; 3 – преобразователь частоты 2ω ; 5 – спектроделитель; 9 и 17 – окна; 12 – окно матовое; 14 и 15 – светофильтры; 19 – пластина матовая

Входное зеркало и выходной спектроделитель размещаются на юстировочном механизме, выполненном по модульному принципу и состоящем из трех плит: одной основной несущей плиты, обеспечивающей базирование и жесткость конструкции, и двух отдельных плит, предназначенных для крепления соответствующих оптических элементов. Такое конструктивное решение позволяет осуществлять независимую юстировку каждого элемента без взаимного влияния на остальные компоненты оптической схемы. Юстировка плит реализуется с помощью винтов с шариками на концах, которые обеспечивают точечный контакт с поверхностью плит, снижая трение, повышая повторяемость настройки и позволяя осуществлять малые угловые и линейные перемещения с высокой точностью.

Отдельно в конструкции предусмотрен механизм юстировки нелинейного кристалла КТР, который требует особо точного позиционирования. Работа нелинейных кристаллов основана на явлении углового фазового синхронизма, и даже незначительное отклонение от оптимального угла приводит к существенному снижению эффективности генерации второй гармоники. В соответствии с выбранным типом нелинейного взаимодействия юстировка кристалла осуществляется в вертикальной плоскости. Крепление кристалла выполнено в виде цельного цилиндрического корпуса, внутри которого размещены сам кристалл и компенсационные прокладки. Фиксация кристалла осуществляется с помощью двух сухарей, обеспечивающих его надежное закрепление без внесения механических напряжений, что особенно важно для сохранения оптических и нелинейных свойств материала.

УДК 621.372.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИНЫ МОДУЛЯЦИИ И ПРОПУСКАНИЯ ПАССИВНОГО ВОЛОКОННОГО РЕФЛЕКТОРА

Мл. науч. сотр. Лазарчук А. И., студент гр.11311222 Шишко Т. А.

Д-р физ.-мат. наук, профессор Кисель В. Э.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Волоконные рефлекторы, привлекают внимание исследователей как перспективные насыщающиеся поглотители. Благодаря интеграции в оптическое волокно они обеспечивают минимальные потери, высокую механическую устойчивость и совместимость с существующими волоконными системами. Изучение их свойств позволяет оценить потенциал применения таких элементов в различных типах лазерных и сенсорных систем. В этой работе мы сообщаем о исследовании свойств пассивного волоконного рефлектора как насыщающегося поглотителя. Схема исследуемого оптоволоконного рефлектора представлена на рисунке 1.

Оптоволоконный рефлектор состоит из разветвителя 2×2 с коэффициентом деления 70/30 **1**, обеспечивающего разделение и объединение оптического излучения, создавая условия для интерференции и использования нелинейных эффектов, пассивного волокна **2**. Для контроля поляризации и определения положения максимумов и минимумов пропускания рефлектора используется контроллер поляризации **3**. Контроллер поляризации волокна используют вызванное напряжением двулучепреломление, создаваемое путем наматывания волокна на три катушки, для создания независимых волновых пластин $\lambda/4$, $\lambda/2$, и $\lambda/4$ которые будут изменять поляризацию передаваемого излучения в одномодовом волокне. Быстрая ось волокна находится в плоскости катушки, что позволяет регулировать произвольное состояние входной поляризации путем вращения лопастей.

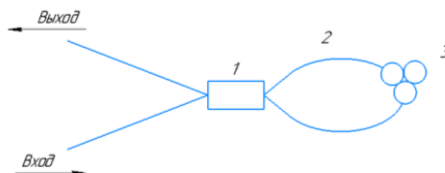


Рис. 1. Схема оптоволоконного рефлектора:

1 – волоконный разветвитель 2×2 ; **2** – пассивное волокно; **3** – контроллер поляризации

Для трех разных положений контроллера поляризация были изучены характеристики излучения, прошедшего волоконный рефлектор. Оценочная глубина модуляции для трех кривых представленных на рисунке составляет около 40–50 % из этого можно сделать вывод что глубина модуляции не сильно зависит от положения контроллера поляризации, а основной вклад вносит схема волоконного рефлектора. Максимальное пропускание для трех случаев составляет от 80 до 90 %, что также может говорить о том, что максимальное пропускание зависит больше от компонентов волоконного рефлектора (разные длины волокон, коэффициент деления разветвителя) чем от положения контроллера. Основное влияние контроллер поляризации оказывает на положения максимума пропускания, меняя этим значение насыщения поглощения, которое является одним из основных параметров насыщающегося поглотителя.

Зависимость пропускания волоконного рефлектора от падающей мощности показана на рисунке 2.

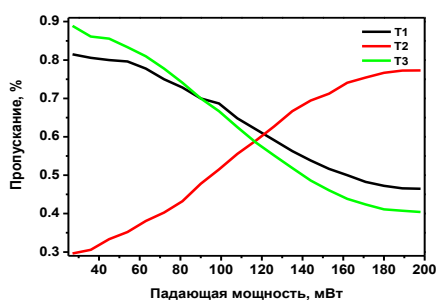


Рис. 2. Зависимость пропускания волоконного рефлектора от падающей мощности

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта Ф24МП-041).

УДК 535.8

ВЛИЯНИЕ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Магистрант гр. 140251/02 Портных Н. А., аспирант гр. 2.2.6-23 Хомякова А. Н.

Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Для достижения наилучшего качества изображения в оптической системе использование обычных сферических поверхностей может оказаться недостаточным. Чаще всего это происходит, когда необходимо максимально уменьшить габаритные размеры системы. Тогда могут быть применены так называемые «асферики». Асферическими поверхностями называются отражающие или преломляющие поверхности, изготовленные с отклонением от сферических значений [1].

В работе представлено исследование получения требуемого значения фокусного расстояния при минимальных габаритах системы.

Было проведено моделирование объектива в системе «Zemax» (рис.1). Изначально объектив имел фокусное расстояние равное 93,7 мм, а общие габариты системы составляли 139 мм. На основе элементов из исходного объектива была использована операция «Поиск наилучшей поверхности для асферизации». Данная операция выбирает подходящую поверхность из выбранного диапазона по наименьшему значению целевой функции.

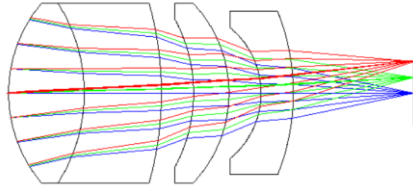
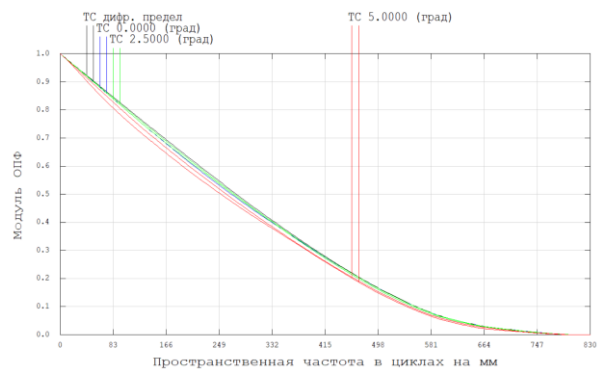


Рис. 1. Смоделированный объектив

Для достижения наилучшего результата в целевой функции были введены ограничения на толщины элементов (функции CTGT, CTLT, ETGT), фокусное расстояние 45 мм (EFFL) и габаритные размеры в целом 50 мм (TOTR).



а



б

Рис. 2. Пример изображение, получаемое на выходе объектива (а); график МПФ (б)

В ходе проведения моделирования на основе графика и примера изображения было получено, что характеристики полученного объектива приближены к дифракционному пределу (рис. 2, б), а это значит, что полученная система обладает достаточно высокой контрастностью (рис. 2, а). Фокусное расстояние объектива 45,012 мм, Общие габаритные размеры системы составили 50,4 мм.

Литература

1. Полещук, А. Лазерные методы контроля асферической оптики / А. Полещук, А. Маточкин // Фото-ника. – 2011. – № 2. – С. 38–44.

УДК 621.373.8

КВАНТОВО-КАСКАДНЫЙ ЛАЗЕР – НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

Студент гр. 11311124 Рапинчук М. А.

Кандидат физ.-мат. наук Красовский В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Из курса физики известно, что для генерации электромагнитных колебаний используют колебательный контур, состоящий из конденсатора емкостью C и катушки индуктивности L . Частота колебаний определяется по формуле Томсона: $\nu = 1/(2\pi\sqrt{LC})$. Для получения высоких частот требуются малые значения L и C . Проведем очень грубую оценку емкости, полагая площадь пластин конденсатора $S = 1 \text{ мм}^2$ и расстояние между ними $d = 1 \text{ мм}$: $C = \epsilon_0 S / d$, где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ – электрическая постоянная. Подставляя указанные значения параметров, получим $C \approx 9 \cdot 10^{-15} \text{ Ф}$. Отметим, что использованная для оценки формула полностью корректна только, если $S \gg d^2$.

Индуктивность оценим по формуле Гровера для проволочного витка $L = 0,5\mu_0 D[\ln(8D/d) - 1,75]$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная, D – диаметр витка, d – диаметр проволоки. Полагая $D = 5$ мм и $d = 1$ мм, получим $L \approx 6 \cdot 10^{-9}$ Гн.

В результате получим оценку частоты генерации $\nu \approx 22$ ТГц, что еще далеко от терагерцового диапазона (ТГц). Следует также учесть, что в силу предельной миниатюрности такого колебательного контура мощность генерируемого сигнала ничтожно мала, а усиление сигнала в этой частотной области представляется не менее сложной задачей. Необходимо учитывать, что электрические цепи в области СВЧ являются сугубо цепями с распределенными параметрами. В последнее время интенсивно развивается направление генерации ТГц излучения на плазмонных колебаниях в фотопроводящих антеннах [1].

Рассмотрим продвижение в ТГц с оптической стороны. Исторически наиболее изучены законы теплового (спонтанного) излучения. Один из них, закон смещения Вина, связывает максимум спектральной плотности энергетической светимости с температурой излучающего тела: $\lambda = b/T$, где $b = 2,9$ мм·К – постоянная Вина. Частота 1 ТГц соответствует длине волны $\lambda = 300$ мкм, а соответствующая этому значению температура $T \approx 9,7$ К. Согласно закону Стефана-Больцмана энергетическая светимость 1 м² поверхности тела с такой температурой составляет всего 0,5 мВт.

Значительно большую мощность можно получить, используя генерацию на основе вынужденного излучения, то есть когерентное излучение лазеров и мазеров. Например, лазер на CO₂, излучающий в среднем ИК-диапазоне, обладает мощностью, позволяющей резать металлы. Самый первый квантовый генератор (мазер) был получен на молекулах аммиака и генерировал на частоте 24 ТГц. Описанное выше излучение фотопроводящих антенн и обычного колебательного контура также является когерентным.

Из всех источников когерентного ТГц излучения наиболее перспективными представляются квантово-каскадные лазеры (ККЛ), являющиеся одной из разновидностей полупроводниковых лазеров. Отличительной особенностью является отсутствие p - n перехода, то есть ККЛ – униполярные электронные приборы. Генерация происходит при переходах электрона между уровнями размерного квантования в квантовой яме сверхрешетки с последующим туннелированием в соседнюю яму, то есть возможен целый каскад актов генерации терагерцовых фотонов. Так как при таких переходах не происходит рекомбинации электрона и дырки, один электрон способен породить целую последовательность фотонов. Изменяя толщину квантовых ям и потенциальных барьеров, можно получать излучение в широком интервале длин волн [2].

Литература

1. Терагерцовое излучение фотопроводящих антенн на основе сверхрешеточных структур {LT-GaAs/GaAs:Si} / А. Н. Ключков, Е. А. Климов, П. М. Солянкин [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 2020. – Т. 128, № 7. – С. 1004–1011.
2. Сковорцов, Л. А. Применение квантово-каскадных лазеров: состояние и перспективы / Л. А. Сковорцов. – М.: Техносфера, 2020. – 270 с.

УДК 535.317

МИНИМИЗАЦИЯ АБЕРРАЦИЙ В ОБЪЕКТИВАХ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ

Магистрант гр. 140251/02 Романцева Е. А.

Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Использование объективов с переменным фокусным расстоянием обеспечивает возможность адаптации углового поля зрения в зависимости от решаемой задачи: в широкоугольном положении достигается расширенный сектор наблюдения и повышается вероятность селекции целей, тогда как при увеличенном фокусном расстоянии реализуется детальный анализ исследуемого объекта [1]. Это особенно важно для систем видеонаблюдения, прицельных комплексов и оптико-электронных станций, где требуется последовательное выполнение задач идентификации.

Рассматриваемый объектив имеет следующие особенности: применяется подвижка нескольких оптических групп; меняется оптическая схема; меняется чувствительность фокуса к температуре. Пример конфигурации подвижки линзы в объективе с переменным фокусным расстоянием представлен на рис. 1.

В некоторых учебных пособиях данный объектив, так же называют трансфокатором или панкратическим объективом. Благодаря тому, что фокусное расстояние может изменяться ступенчато или плавно, можно «приближать» или «отдалять» объект съемки, не меняя позиции камеры.

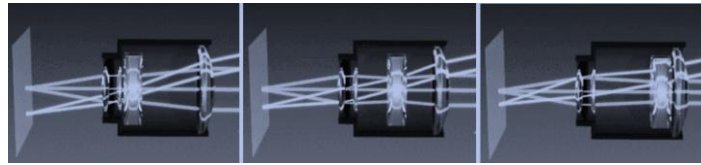


Рис. 1. Пример конфигурации подвижки линзы в объективе с переменным фокусным расстоянием

Для корректной работы объектива в диапазоне температур используется активная атермализация. Данный способ, компенсирует влияние температуры на фокусировку объектива не пассивно (конструкцией), а активно – с помощью датчиков и управляющих механизмов [2].

В рассматриваемом объективе зачастую применяют одну группу для атермализации, чтобы не усложнять механику системы. Фокусирующая группа является одним из часто применяемых вариантов при атермализации объективов с переменным фокусным расстоянием, благодаря такому подходу в результате получаем минимальные абберационные последствия. Благодаря отдельной компенсационной группе, которая значительно дороже фокусирующей группы получаем лучше оптический контроль. В редких случаях для атермализации используют смещение детектора. В данном подходе компенсация температурного сдвига фокуса осуществляется не оптическими группами, а перемещением приемной матрицы вдоль оптической оси. Метод позволяет упростить конструкцию объектива и особенно широко применяется в тепловизионных системах, где температурная зависимость оптических материалов выражена значительно.

В объективах с переменным фокусным расстоянием при смещении группы линз фокус может компенсироваться, но абберации – нет. Поэтому атермализационную группу выбирают так, чтобы она минимально влияла на абберации на всех зумах.

Для минимизации аббераций в таких объективах так же часто применяют метод М. М. Русинова. Данный метод заключается в том, что, зная свойства отдельных элементов оптической системы, можно компоновать исходную схему системы путем сочетания в ней только тех элементов, свойства и возможности которых необходимы для удовлетворения требований, предъявляемых к ней. Такой подход исключает существование в системе элементов, не принимающих участия в исправлении тех или иных аббераций [3].

Литература

1. Русинов, М. М. Техническая оптика / М. М. Русинов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 488 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. Композиция оптических систем / М. М. Русинов. – Л.: Машиностроение, 1989. – 383 с.

УДК 681.787

ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА

Студент гр. 121831 Савина Е. А.

Кандидат техн. наук, доцент Погорелов М. Г.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Интерферометр Майкельсона используется для наблюдения некоторых интерференционных явлений (таких как интерференция полос равного наклона, интерференция полос равной толщины и интерференция полос белого света), прецизионного контраста длин волн, определения нулевой разности хода и измерения показателя преломления прозрачной среды или воздуха [1].

На рисунке 1 показана принципиальная схема интерферометра Майкельсона. Луч света от источника света S попадает на светоделитель BS , который отражает 50 % падающего света и пропускает остальные 50 %. Таким образом, падающий луч разделяется на два: один луч отражается к неподвижному зеркалу M_1 , другой – к подвижному зеркалу M_2 . Оба зеркала отражают

свет обратно к светоделителю BS . Свет от M_1 проходит через светоделитель BS к глазу наблюдателя E , а другой свет от M_2 проходит через компенсаторную пластину CP и отражается от светоделителя BS к глазу наблюдателя E .

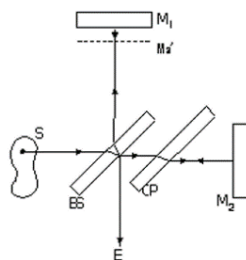


Рис. 1. Принципиальная схема интерферометра Майкельсона

Рассмотрим рисунок 2, *a*. Начальная юстировка — «Картина сдвига». Интерференции пока нет. Зеркала M_1 и мнимое изображение M_2 сильно разведены в стороны; Наложение пятен — «Появление полос» (рис. 2, *b*). Переходный этап-появление интерференции. Зеркала начинают сдвигаться и наклоняться так, чтобы изображения источника совпали; Полосы равной толщины (клина) (рис. 2, *c*). Прямые, параллельные полосы. Зеркала M_1 и M_2 расположены под углом; Настройка на «белый свет» (нулевая разность хода) (рис. 2, *d*). При использовании белого света (или лазера на малом ходе) в центре поля зрения появляются контрастные полосы. Часто в центре видна черная полоса, соответствующая строгому равенству путей. Зеркала почти параллельны, и разность хода между лучами приближается к нулю; Полосы равного наклона — «Кольца» (рис. 2, *e*). Это полосы равного наклона. В центре колец находится точка, где лучи падают перпендикулярно. Зеркала M_1 и M_2 выставлены строго параллельно друг другу (юстировка завершена). Между ними образуется плоскопараллельная воздушная прослойка.

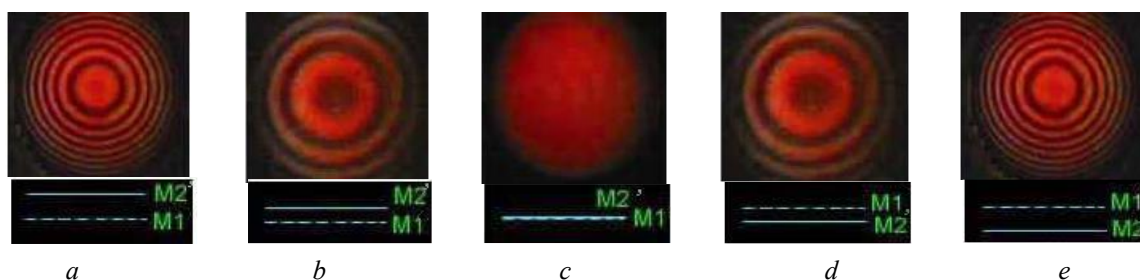


Рис. 2. Интерференция полос: начальная юстировка (*a*); наложение пятен (*b*); полосы равной толщины (*c*); нулевая разность хода (*d*); полосы равного наклона (*e*)

В результате исследования были получены различные виды полос, создаваемых интерферометром Майкельсона. Они показывают путь от полного разъюстирования до идеальной настройки на кольца.

Литература

1. Ахманов, С. А. Физическая оптика / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. — М.: Наука, 2004. — С. 656.

УДК 612.843.7: 378.172: 681.775

О НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК DLP-ПРОЕКТОРОВ

Студент гр. 11302123 Саенко А. В.

Кандидат техн. наук, доцент Зайцева Е. Г., кандидат техн. наук, доцент Богдан П. С.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Процесс обучения связан с большим количеством информации, нуждающейся в визуализации. Наибольшей популярностью на рынке пользуются проекторы, работающие на основе DLP и LCD-матриц. Принцип изменения яркости для LCD-матриц основан на возможности регулирования коэффициента пропускания жидких кристаллов [1]. В то же время в DLP-проекторах яркость изменяется за счет поворота микрзеркала [2] и соответствующего поворота светового пучка, отраженного этим зеркалом (рис. 1).

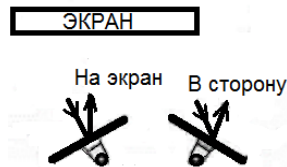


Рис. 1. Схема изменения яркости экрана при DLP-проекции

Как видно из рис. 1, в зависимости от угла наклона зеркала падающий от источника света луч попадает либо на экран, либо в сторону. Чтобы получить промежуточные между максимальным и минимальным значениями яркости, в течение проекции одного кадра необходимо несколько раз повернуть зеркало. При этом часть времени проекции кадр остается темным. Соотношение времени наличия и отсутствия света на экране в течение проекции одного кадра определяет ощущение яркости зрительным анализатором человека, так как зрительный анализатор обладает свойством суммировать яркость во времени. Таким образом, воздействие на зрительный анализатор человека DLP-проекторов отличается от воздействия LCD-проекторов.

Исследования [3], проведенные в учебных аудиториях среди студентов-волонтеров, показали, что шестидесятиминутная зрительная нагрузка с использованием видеопроектора технологии DLP привела к утомлению зрительной сенсорной системы испытуемых. Количественно утомление было выражено как наличие признаков астенопии, сужение полей хроматического (цветового) зрения, достоверное снижение остроты зрения. Аналогичная зрительная нагрузка с использованием видеопроектора технологии 3LCD не вызывала в экспериментах [3] достоверных изменений этих параметров.

Очевидно, что вышеупомянутое утомление обусловлено характером изменения яркости при DLP-проекции. Следовательно, актуальна задача измерения светотехнических характеристик DLP-проекторов с целью изучения возможности уменьшения отрицательного влияния на зрение человека.

Литература

1. Курчаткин, С. А. Светоклапанные системы на жидкокристаллических структурах / С. А. Курчаткин, В. П. Севостьянов, Т. В. Холкина // Вестник СГТУ. – 2013. – № 3 (72). – С. 42–47.
2. Микрозеркальный модулятор для инфракрасных имитационно-моделирующих стендов / И. С. Гибин, О. И. Потатуркин, Е. С. Нежевенко [и др.] // Научный вестник НГТУ. – 2018. – Т. 71, № 2. – С. 75–84.
3. Сравнительный анализ влияния зрительной нагрузки на зрительную сенсорную систему студентов при использовании разных технологий проецирования видеоизображения / Е. Н. Сазонова [и др.] // Cyberleninka. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-vliyaniya-zritelnoy-nagruzki-na-zritelnyuyu-sensornuyu-sistemu-studentov-pri-ispolzovanii-raznyh-tehnologiy> (дата обращения: 14.02.2026).

УДК 535.317.25

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Магистрант гр.140251/02 Семенихин Д. А., аспирант гр. 2.2.6-23 Хомячкова А. Н.

Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

В связи с применением алгоритмов интеллектуальной обработки изображений на данный момент в системах селекции недостаточно получить качественное изображение. На высоких пространственных частотах (мелкие детали) контраст неизбежно падает из-за явления дифракции, одновременно с этим на вероятность регистрации сильно влияют шумы матрицы.

Пространственное разрешение оптико-электронной системы оценивается пространственной частотой, разрешаемой системой. Удобно представлять вероятность их выполнения в виде функции пространственной частоты [1]. Обычно в качестве частоты берут число периодов N_{50} пространственной структуры, приходящихся на критический размер цели. Под числом периодов N_{50} или числом Джонсона подразумевают такое число, при котором задача селекции цели для всех стадий решается с вероятностью 50 процентов, рисунок 1.

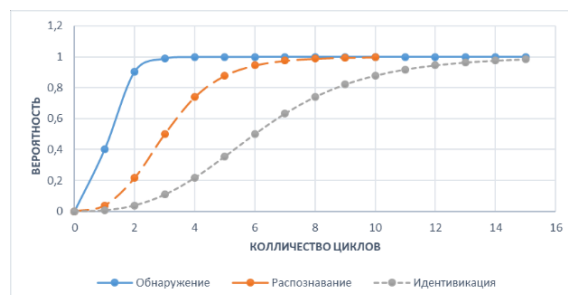


Рис. 1. Функция вероятности цели для обнаружения, распознавания и идентификации

Критическим называют такой размер объекта, вдоль которого ведется анализ. Часто за критический принимают минимальный видимый размер объекта. В ситуации, когда один из физических габаритов является единственным отличием между двумя модификациями аппарата, данный параметр признается критическим размером.

Таблица 1 – Данные для расчета оптической системы

Характеристика	Значение
Формат МПИ, число пикселей (x, y)	640×512
Размер пикселя матрицы, мкм (m)	12
Размер цели, м (a, b)	$2,2 \times 5,3$
Расстояние до цели, м (L)	1200

Количество пикселей для распознавания цели с вероятностью 0,8, как следует из [1], можно определить по следующим уравнениям:

$$P(N) = \frac{(N/N_{50})^E}{1 + (N/N_{50})^E}, \quad (1)$$

где

$$E = 2,7 + 0,7 \left(\frac{N}{N_{50}} \right), \quad (2)$$

где $P(N)$ – вероятность распознавания цели; N – количество пикселей необходимых для распознавания.

В результате решения уравнений количество пикселей необходимых для регистрации получилось равным 10. Далее при расчете были получены фокусное расстояние, равное 42 мм, поле зрения – $26,48^\circ$. Данные характеристики позволят произвести выбор оптической системы из ряда покупных изделий для формирования канала технического зрения, для решения озвученных ранее задач. Также полученные данные применимы для синтеза или оптимизации оптической системы.

Литература

1. Holst, G. C. Electro-optical imaging system performance / G. C. Holst. – Winter Park, Florida USA: JCD Publishing, 2000. – 437 p.

УДК 681.7.055

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ КАНАЛОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

Студент гр. 11311122 Фидюкович Н. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Кузнечик В. О.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные оптико-электронные приборы (ОЭП) представляют собой многоканальные системы, объединяющие телевизионный, тепловизионный и лазерный дальномерный каналы, функционирующие в различных спектральных диапазонах. Эффективность работы таких ком-

плексов напрямую зависит от точности взаимного согласования оптических осей каналов, поскольку даже незначительное рассогласование приводит к ошибкам наведения и снижению тактико-технических характеристик [1].

Согласование каналов – процесс установки оптических осей всех каналов в строго определенное взаимное положение, обеспечивающее единую точку наведения. Рассогласование возникает вследствие технологических погрешностей сборки, температурных деформаций корпуса, вибрационных воздействий и люфтов в механических соединениях.

Контроль согласования осуществляется тремя основными методами: применение координатно-измерительных станков с программным анализом отклонений; сравнение координат изображения одной точки в разных каналах; использование общего коллиматора с тест-объектом, наблюдаемым всеми каналами одновременно.

В зависимости от условий эксплуатации устройства проверки согласования подразделяются на три класса. Цеховые устройства характеризуются простотой конструкции и работают в нормальных климатических условиях. Контрольно-поверочная аппаратура предназначена для проверки в полевых условиях и отличается мобильностью и автономностью. Встроенные системы интегрированы непосредственно в конструкцию ОЭП и обеспечивают автономную диагностику в любых условиях эксплуатации.

Встроенные устройства проверки согласования реализуются по двум функциональным схемам: встроенный опорный коллиматор, генерирующий эталонное направление (рис. 1, а); коллиматор, передающий направление от опорного (базового) канала с помощью зеркально-призменных систем (рис. 1, б).

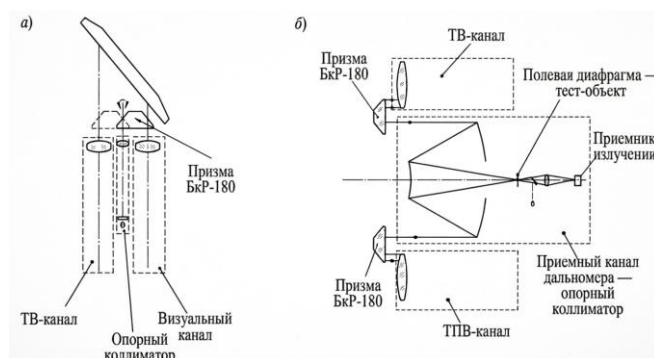


Рис. 1. Схемы устройств проверки согласования осей: встроенный опорный коллиматор (а); коллиматор, передающий направление от опорного канала (б)

От качества согласования каналов зависит точность целеуказания, стабильность параметров и надежность взаимодействия с сопряженными системами. Современные методы, сочетающие прецизионную оптику и цифровую обработку изображений, позволяют обеспечить требуемую точность согласования даже в сложных условиях эксплуатации.

Литература

1. Козерук, А. С. Технология оптического приборостроения / А. С. Козерук. – Мн.: БНТУ, 2016. – 504 с.

УДК 535.317

НЕОБХОДИМЫЙ БАЛАНС ПРИ РАСЧЕТЕ ДОПУСКОВ ОПТИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ АБЕРРАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИК ВАРИООБЪЕКТИВОВ

Аспирант Чергейко С. В.

Д-р техн. наук, профессор Артюхина Н. К.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

При проектировании оптических систем главное, на что необходимо обратить внимание – это технологичность изготовления деталей и точность сборки системы. Иначе можно будет создать систему, не реализуемую с технологической точки зрения, так как при малейшем перемещении компонентов будут возникать aberrации, ухудшающие качество изображения.

Наличие погрешностей изготовления и сборки оптической системы приводит к возникновению дополнительных аберраций, а, следовательно, к ухудшению качества изображения. Поэтому при проектировании важен расчет допусков для изготовления и сборки оптических систем [1].

На начальном этапе проектирования необходимо определить какой метод компенсации будет использован в системе: механический или оптический. Правильный выбор метода компенсации формирует себестоимость и конкурентоспособность разработанного изделия.

При выборе оптического метода компенсации система будет содержать большее количество оптических элементов, что приводит к значительному увеличению стоимости в отличие от механического метода компенсации. При механическом методе компенсации, выше требования к изготовлению механических деталей и к сборке системы [1].

В ИК вариообъективах для обнаружения объектов с вероятностью не менее 50 % объектив должен формировать кружок рассеяния, который охватывает не менее двух чувствительных элементов фотоприемника. Это является основным критерием оценки качества. После внедрения современных программ расчета оптических систем, решение задач по расчету допусков стало возможно автоматизировать. Это главным образом касается допусков на конструктивные параметры, такие как: радиусы кривизны поверхностей, толщины линз и воздушные промежутки, показателей преломления оптических материалов, децентрировки, а также некоторых вопросов анализа и синтеза допусков по различным параметрам при применении методов теории вероятностей и математической статистики [2]. Расчет методом Монте-Карло позволяет достичь лучших результатов, и если допуски оказываются слишком жесткими, то следует менять схему объектива.

Однако, после получения положительного результата, определяем самые влияющие конструктивные параметры и получаем значения наиболее влияющих допусков.

На основании полученных результатов делаем выводы о технологичности спроектированной схемы. Если допуски имеют достаточно широкий диапазон, то рассчитанная система технологична и можно разрабатывать конструкцию вариообъектива.

Для расчета допусков и зазоров механических деталей, а также допусков на взаимное перемещение оптических компонентов используют оптический выпуск.

Выбор механической конструкции во многом зависит от допуска на взаимное расположение оптических компонентов.

Литература

1. Мальцев, М. Д. Расчет допусков на оптические детали / М. Д. Мальцев. – М.: Машиностроение, 1974. – 168 с.
2. Справочник технолога-оптика / М. А. Окатов, Э. А. Антонов, А. Байгожин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.

УДК 535.317

ТРЕХЛИНЗОВЫЙ ОБЪЕКТИВ-АПОХРОМАТ

Магистрант Шевченко В. П., студент гр. 11311123 Гурина А. В.

Д-р техн. наук, профессор Артюхина Н. К.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для цифровых автоколлиматоров, предназначенных для измерения взаимного углового положения базовых осей и плоскостей изделий, контроля и юстировки оптических изделий, требуются объективы с исправленной сферической, хроматической аберрацией, комой и вторичным спектром.

Такие объективы отличаются большими фокусными расстояниями ($f^* = 1000\text{--}1500$ мм), а также высокими требованиями к качеству изображения. Вследствие большой величины фокусного расстояния объектива величина вторичного спектра становится значительной и заметно влияет на качество изображения, создавая радужные кольца вокруг изображения и соответственно уменьшая резкость последнего и разрешающую силу объектива. При больших относительных отверстиях объективов, необходимо исправлять и сферохроматическую аберрацию, действие которой аналогично действию вторичного спектра.

В работе рассмотрен трехлинзовый объектив-апохромат, конструкция которого состоит из двухлинзовой склейки и отдельной линзы. Расчет заключался в подборе и определении необходимых видов оптических деталей, их конструктивных элементов, материала и расстояний между ними.

Поскольку выполнение условия апохроматизма требует применения марок стекла с близкими значениями коэффициентов дисперсии ν (иначе нельзя добиться равенства частных относительных дисперсий), то линзы апохромата имеют большие оптические силы и довольно большие aberrации высшего порядка, поэтому их относительные отверстия малы, как отмечено в [1]: не более 1/15 при фокусных расстояниях 1–2 м. Апохроматы из трех марок стекол легко расстраиваются и чувствительны к перемене температуры, толчкам и т. д. Это вызывает технологические сложности при разработке объектива. При производстве объектива необходимо использовать прогрессивные технологические процессы с применением унифицированного оборудования.

Литература

1. Запрягаева, Л. А. Расчет и проектирование оптических систем: учебник для вузов / Л. А. Запрягаева, И. С. Свешникова. – М.: Логос, 2000. – 584 с.

УДК 621.373.826

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЧИРПИРОВАННЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ $\text{Yb}^{3+}:\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$

Студенты гр. 11311222 Шишко Т. А., Суринович Е. И., мл. науч. сотр. Лазарчук А. И.

Д-р физ.-мат. наук, профессор Кисель В. Э.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Кристаллы, легированные ионами Yb^{3+} имеют интенсивные полосы поглощения в спектральной области 980 нм, что позволяет использовать в качестве источников накачки не дорогих, коммерчески доступных InGaAs лазерных диодов, имеющие большой диапазон выходных мощностей (до нескольких кВт) в непрерывном режиме. Широкие полосы усиления ионов Yb^{3+} допускают получение импульсов фемтосекундной длительности.

Схема усиления реализована на основе двух кристаллов $\text{Yb}^{3+}:\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ ($\text{Yb}:\text{KGW}$) с диодной накачкой в области 980 нм. Схема разработанной системы регенеративного усиления представлена на рисунке 1.

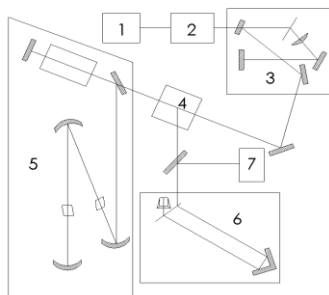


Рис. 1. Схема разработанной системы:
1 – задающий лазер;
2, 4 – изолятор Фарадея;
3 – стретчер; 5 – резонатор усилителя;
6 – компрессор;
7 – блок измерительного оборудования

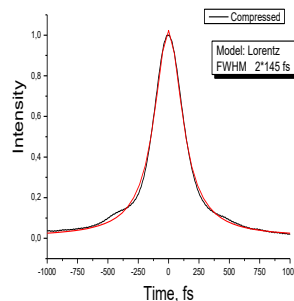


Рис. 2. Автокорреляционная функция после усиления

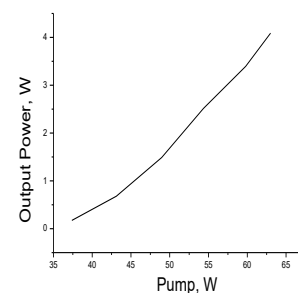


Рис. 3. Зависимость выходной мощности от падающей накачки оборудования

Излучение задающего лазера 1 проходит изолятор Фарадея 2, для предотвращения попадания обратного отражения излучения в задающий лазер. Для эффективного усиления лазерные импульсы растягиваются во времени в стретчере 3 на основе пропускающей дифракционной решетки и попадают в усилитель 5. Изолятор Фарадея 4 выполняет роль циркулятора и разделяет входной затравочный и выходной усиленный импульсы. В компрессоре 6 происходит сжатие усиленного импульса.

На рисунке 2 показана автокорреляционная функция сжатого усиленного импульса, длительность составила 145 фс. Зависимость выходной мощности от падающей мощности накачки представлена на рисунке 3. Максимальная энергия сжатого импульса при частоте следования 20 МГц составила 204 мкДж, что соответствует средней выходной мощности более 4 Вт и пиковой мощности одиночного импульса более 1,4 ГВт.

УДК 535.374:535.345.1

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ ПРИ СТАЦИОНАРНОЙ НАКАЧКЕ

Магистрант гр. 513150 Якубович Т. С.^{1,2}Кандидат техн. наук, доцент Федорцев Р. В.², Гоман Д. А.¹¹ЗАО «СЛС Прайм Технолоджи», Минск, Беларусь²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящей работе описаны алгоритмы расчетов величины волновой расстройки обусловленной расходимостью пучка накачки и алгоритм расчетов коэффициентов параметрического усиления при разных интенсивностях накачки [1]. Схема параметрического усилителя света показана на рис. 1.

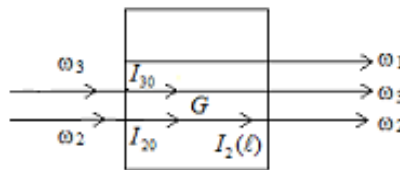


Рис. 1. Схема параметрического усилителя

Если на входе нелинейного кристалла присутствуют две волны с частотами ω_2 и ω_3 , а волна с частотой ω_1 отсутствует, то интенсивности волн ω_1 , ω_2 и ω_3 на выходе кристалла определяются с помощью следующих уравнений:

$$\begin{cases} I_1(l) = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot I_{20} \cdot \text{sh}^2(gl) \\ I_2(l) = I_{20} \cdot \text{ch}^2(gl) \end{cases}, \quad (1)$$

где l – длина нелинейного кристалла, I_{20} – интенсивность слабой волны с частотой ω_2 на входе кристалла, $I_2(l)$ – интенсивность усиленной волны с частотой ω_2 на выходе кристалла, $I_1(l)$ – интенсивность генерируемой волны с частотой ω_1 на выходе кристалла.

За один проход в нелинейном кристалле коэффициент параметрического усиления по мощности равен

$$G_{eff} = \frac{I_2(l)}{I_{20}} = \text{ch}^2(g_{eff}l). \quad (2)$$

При больших значениях $g_{eff}l$ коэффициент параметрического усиления по мощности можно рассчитывать по другой формуле

$$G_{eff} = \frac{1}{4} \exp(2g_{eff}l). \quad (3)$$

В условиях точного фазового синхронизма максимальный коэффициент параметрического усиления на единицу длины рассчитывают по формуле

$$g_0 = \sqrt{M \cdot I_{30}}. \quad (4)$$

При наличии волновой расстройки

$$g_{eff} = g_0 \cdot \text{sn}[\Delta k \cdot l/2], \quad (5)$$

$$\text{где } \text{sn}[\Delta k \cdot l/2] = \left[\frac{\sin\left(\frac{\Delta k \cdot l}{2}\right)}{\frac{\Delta k \cdot l}{2}} \right].$$

Для расчетов волновой расстройки используем формулу

$$\Delta k = (\beta \cdot \Delta\theta_3)/2n_3, \quad (6)$$

где $\beta = 2 \cdot \Delta k_c / \Delta\theta_c$ – угловая чувствительность нелинейного кристалла, $\Delta\theta_3$ – расходимость пучка накачки, n_3 – показатель преломления кристалла для волны накачки, $\Delta\theta_c$ – ширина углового синхронизма в нелинейном кристалле [2].

Для расчетов коэффициентов параметрического усиления используем программу SNLO, в которой задаем: нелинейный кристалл; тип взаимодействия и поляризации волн; длины волн: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; – температура t .

В программе SNLO рассчитываются и выводятся на экран: показатели преломления n_1, n_2, n_3 ; угол синхронизма θ_c ; ширина углового синхронизма для кристалла длиной 1 см $\Delta\theta_c$; эффективный коэффициент нелинейной связи d_{eff} .

Литература

1. Дмитриев, В. Г. Прикладная нелинейная оптика / В. Г. Дмитриев, Л. В. Тарасов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 512 с.
2. Finsterbusch, K. Tunable, high-power, narrow-band picosecond IR radiation by optical parametric amplification in KTP / K. Finsterbusch, R. Urschel, H. Zacharias // Appl. Phys. B. – 2002. – Vol. 74. – P. 319–322.

СЕКЦИЯ 5. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

UDC 004.01: 001.891

THE CONTRIBUTION OF CHINESE SCIENTISTS TO THE FIFTH INFORMATION REVOLUTIONS

Master's student group 51313225 Baoluo Yue

PhD, Associate Professor Gatskevich E. I.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The fifth information revolution was caused by the development of computer technology, transition to personal computers and microprocessor technologies. We know a lot of American, European and Soviet scientists who had invaluable contribution to the fifth revolution. Among such famous scientists as Claude Shannon, John von Neumann, Linus Torvalds, Zhores Alferov, it is rare to find the names of Chinese scientists, although their contribution is quite significant.

In this paper we analyze the contribution of Chinese scientists to fifth information revolution. In this time one of the most brilliant scientist was Xia Peisu (1923–2014). Xia Peisu was hailed as "the mother of computer science in China" [1]. The main achievements of the scientist that led to revolution changes in information technology, especially in China, are considered.

The first Chinese computer created by Xia Peisu was developed in the late 1950s. It was built using vacuum tubes and diodes and was based on the von Neumann architecture. Soviet scientists provided significant assistance to the Chinese in developing this first computer. Xia's 107 model was the first computer that China developed, without Soviet support. In the 1960s, there was a transition from vacuum tube technology to transistor and integrated circuit technologies. All work on miniaturizing computer components and introducing new technologies was carried out under the leadership of Xia Peisu. An interesting fact is that when the American delegation visited China in 1972, they were surprised by the high level of Chinese development [2].

In 1981, Xia Peisu developed a high-speed processor array called the 150AP. Compared to the earlier Soviet-based model 104 that performed 10,000 operations per second, her 150AP boosted a computer's operations to 20 million per second [2]. She led the research and development of functionally distributed computer systems and successfully delivered the GF10 series computers, which later had been one of the key research projects [2].

Xia placed great emphasis on educating and training new scientists in the field of information technology, and we are now seeing the results of this work. A whole generation of talented scientists has emerged who have made China one of the world's leaders in information technology.

China's artificial intelligence (AI) model DeepSeek drew international attention. DeepSeek is characterized by low cost and open-source sharing. DeepSeek model R1 is a cutting-edge Chinese neural network and large-scale language model suite [3]. Authors [3] presented DeepSeek-R1-Zero and DeepSeek-R1, which rely on large-scale RL to incentivize model reasoning behaviors. The results demonstrate that pre-trained checkpoints inherently have substantive potential for complex reasoning tasks.

Recently, the Chinese presented the development of the new light-based quantum computer Zuchongzhi 3.0 [4]. This superconducting quantum computer prototype, comprising 105 qubits, achieves high operational fidelities, with single-qubit gates, two-qubit gates, and readout fidelity at 99.90 %, 99.62 %, and 99.13 %, respectively. The experiments with an 83-qubit, 32-cycle random circuit sampling on the Zuchongzhi 3.0 highlight its superior performance, achieving 1×10^6 samples in just a few hundred seconds. The estimation shows this task is not infeasible on the most powerful classical supercomputers.

References

1. Xia Peisy (1923–2014) // The University of Edinburgh. – URL: <https://information-services.ed.ac.uk/about/naming-spaces-after-inspirational-women/xia-peisu/2025-02-27> (date of access: 27.02.2025).
2. McNeill, L. The computer pioneer who built modern China / L. McNeill // BBC. – URL: <https://www.bbc.com> (date of access: 27.02.2025).
3. DeepSeek-R1 incentivizes reasoning in LLMs through reinforcement learning / D. Guo, D. Yang, H. Zhang [et al.] // Nature. – 2025. – Vol. 645. – P. 633–638.
4. Establishing a New Benchmark in Quantum Computational Advantage with 105-qubit Zuchongzhi 3.0 Processor / D. Gao, L. Chen, M. Wang [et al.] // Physical Review Letters. – 2025. – Vol. 134. – P. 090601.

**DIFFERENCES IN FACTORING APPROACHES IN RUSSIAN
AND ENGLISH-LANGUAGE EDUCATION**

Student of gr. 11307325 Rufaro Chizu

PhD, Associate Professor Hundzina M.A.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Differences in methods of factoring polynomials in Russian and English literature lie primarily in the approach, classification, and emphasis, although the mathematical essence of the operations is identical [1]. In the Russian and post-Soviet educational tradition, a clear classification of methods is observed: factoring out the common factor, the grouping method, using abbreviated multiplication formulas, factoring a quadratic trinomial through the discriminant or Vieta's theorem, completing the square, and the method of undetermined coefficients for complex cases.

In English-language literature, the approach is more generalized and grouped into the following strategies: factoring out the greatest common factor, factoring by grouping, the method of factoring quadratic trinomials, which includes several techniques, and using special school formulas.

Key differences are evident in the emphasis. For example, English-language textbooks widely feature the algorithmic AC Method for quadratic trinomials, which is not present in the classical Russian school curriculum as a separately named method. This method involves factoring the product of the first and last coefficients and subsequent grouping without explicitly finding the roots.

The essence of this method is the algorithmic factoring of a quadratic trinomial by reducing the problem to a simpler case followed by grouping. The method systematizes the selection of coefficients and consists of several steps. The first step is multiplying the leading coefficient a by c , obtaining the key product $P = ac$. The second step is finding two integers m and n such that their sum equals the middle coefficient b ($m + n = b$), and their product equals the previously found number P ($m \cdot n = ac$). The third step is rewriting the original trinomial as a four-term polynomial, where the middle term bx is split into the two found terms: $ax^2 + mx + nx + c$. The fourth and final step is applying factorization by grouping to this four-term polynomial: first, grouping the first two and the last two terms ($ax^2 + mx$) and ($nx + c$), then factoring out the common factor from each group, which results in a common binomial factor that can also be factored out. The main advantage of this method is its algorithmic nature and clarity; it eliminates "guesswork" when working with trinomials, which is especially valuable in pedagogical practice.

In the Russian school, the emphasis is on directly finding the roots through the discriminant or Vieta's theorem, followed by writing the factorization using the formula. Also, English textbooks pay significant attention to the trial and error method as an intuitive first step, while in the Russian school, it is less often highlighted separately.

When working with higher-degree polynomials, the Russian tradition more frequently uses the path of reducing the degree through grouping, root selection, and long division ("corner" division) using Bezout's theorem. In English-language literature, the Rational Root Theorem is more explicitly formulated, and synthetic division is actively used as a compact alternative to long division.

The structure of instruction differs: the Russian approach is often more deductive and systematic, moving from simple to complex with a clear distinction of each technique. The Anglo-American approach is more inductive and practice-oriented, with an emphasis on pattern recognition.

References

1. Hundzina, M. A. Mathematics. Matrices and vectors: educational-methodical manual for students of specialties 6-05-0716-03 "Information and measuring instruments and systems", 6-05-0716-04 "Optoelectronic and laser technology", 6-05-0716-06 "Biomedical engineering" / M. A. Hundzina, N. A. Kandratsyeva, M. A. Knyazev. – Minsk: BNTU, 2024. – 40 p.
2. Hundzina, M. A. Applied mathematics plastic deformation of metals: educational and methodical manual for students of specialty 1-38 80 01 "Instrumentation" / M. A. Hundzina, O. V. Yuhnovskaya; Belarusian National Technical University Department, "Engineering Mathematics". – Minsk: BNTU, 2022. – 67 p.

ВЫВОД ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА ТРОПОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОДИНАМИКИ

Студент гр. 10301325 Гришкевич Д. В.

Канд. физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

На основе многолетних эмпирических наблюдений и для того, чтобы специалисты по всему миру использовали одинаковые параметры (например, при проектировании двигателей, для настройки высотомеров) Международная организация гражданской авиации (ИКАО) зафиксировала значения давлений, температур и др. для различных высот в виде стандарта. На рисунке 1 приведена зависимость температуры от высоты, вертикальный температурный градиент: $6,5\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{км}$ [2].

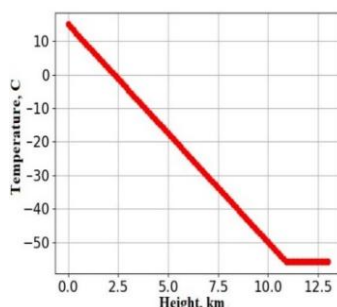


Рис. 1. Зависимость температуры от высоты [2]

Один из возможных теоретических выводов формулы для температурного градиента основан на первом начале термодинамики и уравнении гидростатики.

Согласно первому началу термодинамики для некоторого количества воздуха [1]: $\partial Q = dU + \partial A$, и $\partial Q = C_V dT + p dV$. Если учесть, что $d(pV) = p dV + V dp = R dT$; $p dV = R dT - V dp$; $C_p = C_V + R$, то первое начало термодинамики можно представить в виде: $\partial Q = C_p dT - V dp$. Приведенное к единице массы (деленное на массу): $\partial q = c_p dT - dp/\rho$. Учитывая, что изменение давления связано с изменением высоты: $dp = -\rho g dz$ получим: $\partial q = c_p dT - g dz$. Тогда температурный градиент равен:

$$\frac{dT}{dz} = \frac{g - \frac{\partial q}{\partial z}}{c_p},$$

и для «адиабатической» атмосферы ($\frac{\partial q}{\partial z} = 0$): $\frac{dT}{dz} = \frac{g}{c_p}$, где g – ускорение свободного падения, удельная теплоемкость при постоянном давлении: $c_p = \frac{C_p}{M_B} = \frac{i+2}{2M_B} R$. И температурный градиент «адиабатической» атмосферы:

$$\frac{dT}{dz} = \frac{2M_B g}{(i+2)R},$$

где M_B – молярная масс воздуха, R – газовая постоянная, i – число степеней свободы молекул воздуха. Для сухого воздуха ($M_B = 29$ г/моль) температурный градиент, насчитанный по формуле, равен $9,78\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{км}$. Молярная масса влажного воздуха рассчитывается как для смеси газов, сухого воздуха и водяного пара: $M_{см} = z_{п} M_{п} + (1 - z_{п}) M_B$, $M_{п}$ – молярная масс водяного пара ($M_{п} = 18$ г/моль), $z_{п}$ – молярная доля водяного пара. $z_{п}$ равна отношению парциального давления пара к общему давлению: $z_{п} = \frac{p_{п}}{p_0}$, $p_0 = 101,325$ кПа. Парциальное давление пара зависит от относительной влажности x и давления насыщенного пара: $p_{п} = x p_{нас}$. Давления насыщенного пара можно рассчитать, по популярной у метеорологов, формуле Магнуса: $p_{нас} = 0,6112 \exp\left(\frac{17,67t}{t+243,5}\right)$, давление в кПа, t – температура в $^{\circ}\text{C}$. Тогда при 100 % влажности и температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, молярная масса такого воздуха равна $28,66$ г/моль, и температурный градиент $9,67\text{ }^{\circ}\text{K}/\text{км}$, что меньше несущественно. Таким образом, теоретическое и стандартные

значения градиента отличаются, учет наличия в воздухе водяного пара недостаточен, необходимо учитывать подвод теплоты и фазовые переходы с выделением теплоты, которые «подогревают» воздух, замедляя остывание атмосферы. Чтобы теория совпадала с стандартным значением необходимо чтобы выделялась теплота примерно $\frac{\partial q}{\partial z} \approx 3,2$ Дж/(кг·м).

Литература

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин. – 5-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика. – 544 с.
2. Атмосфера стандартная. Параметры: ГОСТ 4401–81. – Взамен ГОСТ 4401–73; введ. 01.07.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 181 с.

УДК 004

ФИЗИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Студент гр. 11302125 Балабина Я. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

За последние полвека, количество информации, которую способны обрабатывать компьютеры и скорость, с которой они делают это, удваивается каждые 18 месяцев. Это явление известно как закон Мура. [1]. Считается, что в настоящее время закон Мура не выполняется [2], поскольку компьютеры, как физические системы ограничены законами физики, в частности скоростью света, постоянной Планка и гравитационной постоянной. В настоящей работе рассмотрены ограничения, которые накладывают физические законы на различные параметры компьютеров.

Физические барьеры, накладываемые на разработку современных компьютеров, подробно рассматривает Сет Ллойд в своей работе [3]. Сет Ллойд рассматривает концепцию «совершенного компьютера», который работает на пределе физических возможных скоростей и памяти. Максимальная скорость вычислений ограничена его энергией и определяется принципом неопределенности Гейзенберга, что дает величину порядка 10^{50} операций в секунду. Такой «совершенный» компьютер мог бы хранить до 10^{31} бит, но в то же время состояние этого компьютера напоминало бы плазму, имеющую температуру в миллиарды градусов.

Параллельные вычисления не увеличивают общее число операций в секунду, а лишь перераспределяют энергию между компонентами. Современные компьютеры далеки от этих пределов, так как используют множество частиц для хранения одного бита и выделяют ничтожную долю энергии на логические операции. Однако квантовые компьютеры на основе ядерного магнитного резонанса (ЯМР), уже работают на физическом пределе отдельных битов, хотя их общая производительность на много порядков ниже из-за того, что основная энергия остается «запертой» в массе.

Существуют также экстремальные примеры вычислений, такие как столкновения тяжелых ионов в коллайдере, где на короткое время возникает система, способная выполнять простые операции на уровне 10^4 бит. При сохранении экспоненциального роста производительности (закон Мура) достижение физических пределов может занять около 250 лет, а разрыв между современными компьютерами и идеальным физическим пределом составляет около 10^{40} .

В работе [4] перечисляются основные ограничения, которые накладывает физика на быстроедействие и память компьютеров. В частности, в работе обсуждается вывод С. Ллойда, что черная дыра – и есть «пределный» компьютер, причем благодаря его ничтожно малым размерам скорость вычислений и скорость обмена информацией достигнут одного и того же, максимального, значения. Тем самым проблема ввода-вывода будет решена.

Проведенное обсуждение показывает, что дальнейшее развитие компьютеров неизбежно упрется в необходимость перехода от классических кремниевых технологий к квантовым или другим принципиально новым физическим носителям информации.

Литература

1. Moore, G. Cramming More Components onto Integrated Circuits / G. Moore // Electronics Magazine. – 1965. – Vol. 38, № 8. – P. 114–117.
2. Moore's law really is dead this time [EB/OL]. – URL: <https://arstechnica.com/information-technology/2016/02/moores-law-really-is-dead-this-time> (дата обращения: 22.02.2026).
3. Lloyd, S. Ultimate physical limits to computation / S. Lloyd // Nature. – 2000. – Vol. 406, № 6799. – P. 1047–1054.
4. Шишлова, А. Последний компьютер / А. Шишлова // Наука и жизнь. – 2026. – № 2. – С. 68–72.

УДК 681.509

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ТЕНЗО- И ВИБРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРИ ПОМОЩИ ДИСКРЕТНЫХ ВЕЙВЛЕТОВ

Студент гр. 11307123 Войтеховский А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Реутская О. Г., кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчук В. М.,
д-р физ.-мат. наук, профессор Князев М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Методы технической диагностики необходимы для разработки преобразователей разного уровня сложности. При этом возникают проблемы оценки распознавания истинного состояния объекта, а также классификации этого состояния. Одним из методов решения таких проблем является применение дискретного вейвлет анализа. При таком подходе сигнал удается записать в виде ряда по дельта-функциям. Коэффициенты ряда при различных дельта-функциях имеют различные значения. Каждая дельта-функция с некоторым коэффициентом n может быть представлена в виде некоторой суммы n единичных дельта-функций. Это позволит представить измеряемый сигнал в виде бинарного вектора, использование которого, в свою очередь, позволит повысить достоверность диагностирования уровня надежности деталей различных систем и механизмов [1]. С идентификацией расположения единиц в бинарном векторе упрощается обработка сигналов для диагностики, поскольку наличие и положение каждой единицы идентифицируют диагностическую информацию о процессе в системе и ее состоянии. К тому же, применение вейвлет-анализа позволяет получить однозначное представление для сигналов. Вышеизложенный подход позволит разработать новый метод анализа износа и преждевременного выхода из строя деталей производственно-технических систем и разработать методику диагностического анализа характеристик тензо- и виброметрических сигналов технического происхождения.

Для классического вейвлета принято считать, что для материнского вейвлета должно выполняться условие допустимости: среднее значение вейвлета должно равняться нулю $C\psi = 0$. В тоже время для сингулярного вейвлета удобно принимать среднее значение равным единице $C\psi = 1$. В качестве базисного вейвлета $\psi(t)$ можно использовать дельта-образную функцию нормального распределения с заданными стандартным отклонением и математическим ожиданием. Вейвлет-преобразование с использованием дельта-функций удобнее обычного вейвлет-преобразования, поскольку такое разложение сигнала лучше показывает его минимальные изменения, более эффективно выделяет разрывы и обеспечивает лучший анализ по частоте. Данное вейвлет-преобразование можно записать следующим образом [2, 3]

$$f(x) = \sum_{k=0}^K W F_k(x, a_k) + F_{K+1}(x),$$

где $a_k = 2^{-k}\alpha$, α – некоторая постоянная, $f(x)$ – измеренный сигнал. Коэффициенты вейвлет преобразования находятся следующим образом

$$WF_k(x, a_k) = \left[\sum_i F_{k,i} \psi\left(\frac{x_i - x}{a_k}\right) \right] / \left[\sum_i \psi\left(\frac{x_i - x}{a_k}\right) \right],$$

$$F_{k+1,j} = F_{k,j} - WF_k(x_j, a_k),$$

где k – порядковый номер вейвлет-преобразования, K – порядок приближения; $K \geq 1$, $F_{K+1}(x)$ – остаточный член; $F_{0,j} = f(x_j)$, $f(x_j)$ – заданные дискретные значения. Практическая реализация метода, основанного на использовании дискретного вейвлет преобразования, подразумевает создание электронной базы различных сигналов, возникающих в производственно-технических процессах.

Литература

1. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. – Ижевск: НИЦ РХД, 2001. – 464 с.
2. Романчук, В. М. Аппроксимация сингулярными вейвлетами / В. М. Романчук // Системный анализ и прикладная информатика. – 2018. – № 2. – С. 23–28.
3. Романчук, В. М. Локальные преобразования с сингулярным вейвлетом / В. М. Романчук // Информатика. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 39–46.

УДК 531

СООТВЕТСТВИЕ ПАРАМЕТРОВ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ ГАЗОВЫМ ЗАКОНАМ

Студент гр. 10301325 Гулякевич И. М.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Реальная атмосфера Земли – это сложная динамическая система. Давление, температура и плотность воздуха постоянно меняются в зависимости от географии, времени года, солнечной активности и многих других факторов. Чтобы разработчики авиационной и космической техники использовали одинаковые параметры атмосферы потребовался стандарт, где параметры воздуха зафиксированы на определенных высотах. По этой причине создана модель Стандартной Атмосферы (СА). СА – это не описание реального состояния воздуха в конкретный момент, а условная математическая модель. Модель СА не была выведена теоретически, а получена на основе колоссального объема эмпирических данных, как результат масштабного обобщения многолетних наблюдений. Разные страны долгое время использовали свои модели. Чтобы избежать путаницы в авиационной технике, были созданы международные стандарты: МСА (ISA): Международная стандартная атмосфера, принятая ИКАО (ICAO); ISO 2533: Международный стандарт, на котором базируется большинство национальных систем; ГОСТ 4401-81: Государственный стандарт, действующий в странах СНГ [1]. В данной работе проведен анализ насколько параметры взятых из ГОСТ 4401-81, соответствуют уравнению состояния идеального газа (закон Менделеева – Клапейрона). Пусть $x = \frac{p}{\rho}$, p – давление, ρ – плотность воздуха. Тогда $x_T = \frac{RT_S}{M}$, R – газовая постоянная, M – молярная масса воздуха, T – температура, индексы T, S относятся к теоретическим результатам и стандартным по ГОСТ 4401-81. Проведены расчеты зависимости относительного несовпадения $\varepsilon = \left| \frac{x_S - x_T}{x_S} \right|$ от высоты, значения температур брались из ГОСТ 4401-81. Получили, что значения ε практически не зависят от высоты, и для $M = 28,66$ г/моль составляют 2,09 %, для $M = 29,00$ г/моль составляют 3,2 %. Таким образом, значения давлений, температур, плотности воздуха, взятые для стандартной атмосферы [1], соответствуют модели идеального газа. Также в работе определялось, к какому изопроцессу ближе изменения давления и температуры от высоты для стандартной атмосферы [1]. Для этого определялась величина z , которая входит в уравнение процесса: $pT^z = const$. z определялась для различных высот по формуле:

$$z_i = \frac{\ln \left(\frac{p(h_i)}{p(h_{i+1})} \right)}{\ln \left(\frac{T(h_{i+1})}{T(h_i)} \right)},$$

где h_i – высота. Значения z оказались не зависящими от высоты тропосферы и равными $z = -5,25$. Так как известно, что для политропического процесса: $z = \frac{n}{1-n}$, n – постоянная политропы $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$ [2], C, C_v, C_p – молярная теплоемкость, молярные теплоемкости при постоянном объеме и давлении, соответственно. Значение n равно $n = \frac{z}{z+1} = 1,23$. Следовательно, изменения давления и температуры от высоты можно считать политропическим процессом. Величина молярной теплоемкости рассчитана по формуле $C = \frac{nC_v - C_p}{n-1}$ оказалась отрицательной и равной: $C = -14,5$ Дж/(К·моль). Отрицательная теплоемкость в термодинамике указывает на своеобразное распределение энергии. При расширении воздуха (подъеме вверх) газ совершает работу. В данном процессе работа расширения оказывается больше, чем количество подведенного к нему тепла. Тепло может поступать от поверхности Земли, конденсации воды, солнечной радиации. В результате, газ тратит на работу не только подведенное тепло, но и часть своей внутренней энергии. В итоге, несмотря на подвод тепла, температура газа падает (или наоборот: при отводе тепла температура растет). Использование политропной модели с постоянным показателем n позволяет свести сложные атмосферные данные к единому математическому алгоритму. Это обеспечивает универсальность газовых законов для инженерных расчетов, калибровки приборов и стандартизации летно-технических характеристик воздушных судов независимо от реальных метеословий.

Отрицательная теплоемкость будет также при условии: $1 < n < \gamma$, где $\gamma = 1,4$ – постоянная адиабаты. Это означает, что процесс идет «между» изотермическим ($n = 1,0$) и адиабатным ($n = 1,4$). Для стратосферы (от 11 до 20 км), где температура зафиксирована на уровне $-56,5^\circ\text{C}$, соответствует изотермический процесс.

Литература

1. Атмосфера стандартная. Параметры: ГОСТ 4401–81. – Взамен ГОСТ 4401–73; введ. 01.07.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 181 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин. – 5-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика. – 544 с.

УДК 004.932.72

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ОГРАНИЧЕННЫХ СИСТЕМ

Студент гр. 140251/02 Денисов М. О.

Д-р техн. наук, профессор Матвеев В. В.

ФБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Россия

Современные приборостроительные и робототехнические системы все чаще оснащаются алгоритмами обработки изображений, функционирующими в составе маломощных и автономных вычислительных платформ. В таких условиях особую роль играет задача регистрации объектов в видеопотоке в реальном времени, поскольку от эффективности ее решения зависят функции навигации, измерений, анализа сцены и принятия решений [1].

Особенностью маломощных вычислительных устройств является наличие жестких ограничений по вычислительной мощности, энергопотреблению и допустимым задержкам обработки данных. В связи с этим возникает необходимость не только в разработке эффективных алгоритмов трекинга, но и в корректной оценке их применимости в условиях реальной эксплуатации.

Классические алгоритмы регистрации объектов, такие как методы на основе корреляционных фильтров и анализа движения, отличаются низкой вычислительной сложностью и высокой скоростью работы. Это делает их привлекательными для мобильных систем, однако устойчивость таких алгоритмов существенно снижается при изменении внешнего вида объекта, освещенности сцены и при наличии частичных перекрытий.

Современные интеллектуальные алгоритмы трекинга позволяют добиться повышенной точности и устойчивости регистрации объектов благодаря использованию детализированных признаков объектов. Вместе с тем большинство современных решений ориентированы на вычислительно мощные платформы и, как правило, оцениваются преимущественно по показателям точности. Такой подход не позволяет адекватно оценить пригодность алгоритмов для мобильных устройств, поскольку не учитывает вычислительную сложность и задержки обработки видеопотока [2, 3].

В рамках данной работы предлагается система критериев оценки алгоритмов регистрации объектов, ориентированная на применение в маломощных вычислительных устройствах. В отличие от традиционных подходов, предложенная система учитывает совокупность характеристик, определяющих возможность практической реализации алгоритмов в системах реального времени. Предлагаемые ключевые критерии приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Критерии оценки алгоритмов регистрации объектов для маломощных вычислительных устройств

Критерий	Описание
Точность локализации объекта	Характеризует качество сопровождения
Вычислительную сложность алгоритма	Определяет требования к вычислительным ресурсам
Временную задержку обработки видеопотока	Определяет возможность работы в реальном времени
Стабильность трекинга во времени	Важна для длительного наблюдения
Адаптируемость алгоритма	Критично для маломощных условий
Пригодность к оптимизации	Определяет потенциал внедрения

Использование формализованной системы критериев позволяет на ранних этапах проектирования отсеивать заведомо непригодные архитектуры и обосновывать выбор направлений оптимизации алгоритмов обработки изображений для маломощных и встроенных вычислительных платформ.

Литература

1. Wu, Y. Object Tracking Benchmark / Y. Wu, J. Lim, M.-H. Yang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2015. – Vol. 37, № 9. – P. 1834–1848.
2. Bertinetto, L. Fully-Convolutional Siamese Networks for Object Tracking / L. Bertinetto, J. Valmadre, J. Henriques, A. Vedaldi, P. Torr // European Conference on Computer Vision (ECCV). – Cham: Springer, 2016. – P. 850–865.
3. Zhang, Z. Deeper and Wider Siamese Networks for Real-Time Visual Tracking / Z. Zhang, H. Peng // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – Los Alamitos: IEEE Computer Society, 2019. – P. 4586–4595.

УДК 615.8:004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ЦИФРОВЫХ КАРТ КАПИЕНТА В АППАРАТАХ МЕХАНОТЕРАПИИ

Студент гр. 11307222 Добровольская Е. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Габец В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Бурное развитие систем искусственного интеллекта (далее ИИ) расширяет возможности для персонализации и повышения эффективности физической реабилитации [1]. Современные модели ИИ способны анализировать и интегрировать разнородные данные о пациенте: от объективных показателей движения и мышечной активности (ЭМГ) до данных визуализации (МРТ, УЗИ) и субъективных отчетов. Такие решения могут трансформировать ключевые направления реабилитации, включая автоматизированный анализ движений по видео и интерпретацию данных датчиков для объективного отслеживания прогресса [1, 2].

Особый интерес представляет применение ИИ в механотерапии – методе восстановления функций суставов с помощью специализированных тренажеров. Аппараты непрерывной пассивной разработки суставов (Continuous Passive Motion), давно стали стандартом в раннем послеоперационном периоде. Современная эволюция этих устройств идет по пути интеграции с цифровыми технологиями, позволяя сделать из них интеллектуальные системы, способные накапливать и анализировать данные о ходе лечения [1, 3].

Наиболее практичным и уже внедренным в клиническую практику примером интеграции цифровых технологий в механотерапию является использование карт данных пациента в аппаратах. Физически карта представляет собой носитель с чипом, который выполняет функцию персонального «ключа» и электронного дневника терапии. Процесс ее использования состоит в следующем:

1. Сохранение протокола. Врач настраивает на аппарате индивидуальные параметры (диапазон углов сгибания/разгибания, скорость, время сеанса), записывает их на карту пациента.
2. Автономная работа и сбор данных. Во время сеанса пациент вставляет карту, и тренажер автоматически загружает его программу. По окончании сеанса аппарат фиксирует на карте фактические данные: длительность, достигнутые углы, общее время терапии.
3. Анализ и коррекция. Врач считывает данные с карты, оценивает динамику восстановления. На основе этих данных, специалист принимает решение о коррекции программы на следующий период.

Дальнейшее развитие этого направления должно быть направлено на:

1. Интеграцию с носимыми сенсорами. Объединение данных с тренажера и данных с носимых датчиков в повседневной жизни пациента для создания целостной картины восстановления [1, 3].
2. Разработку гибридных систем. Сочетание количественных методов анализа движений, объективного мониторинга для предоставления врачу структурированных рекомендаций [1, 2].
3. Прогнозное моделирование: Использование накопленных массивов данных (с карт пациентов) для обучения моделей, предсказывающих индивидуальный ответ на нагрузку и долгосрочные результаты восстановления после ортопедических операций [1].

Применение искусственного интеллекта в физической реабилитации развивается в двух дополняющих друг друга направлениях: создание текстовых ассистентов для обучения пациентов и планирования терапии, и интеллектуализация реабилитационного оборудования. Аппараты с картами данных пациента представляют собой важный промежуточный этап на пути к полностью адаптивным системам. Они обеспечивают цифровизацию и преемственность лечебного процесса, накапливая данные, необходимые для работы прогностических моделей. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку специализированных, ИИ-решений, интегрированных в клинический контур принятия решений и ориентированных на индивидуальные траектории восстановления пациентов с контрактурами крупных суставов [1, 3].

Литература

1. Намиот, Е. Д. Искусственный интеллект в физической реабилитации / Е. Д. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2026. – Т. 14, № 2. – С. 148–155.
2. Clinical and Surgical Applications of Large Language Models: A Systematic Review / S. M. Pressman, S. Borna, C. A. Gomez-Cabello [et al.] // Journal of Clinical Medicine. – 2024. – Vol. 13, № 11. – P. 3041.
3. Wearable Sensors Improve Prediction of Post-Stroke Walking Function Following Inpatient Rehabilitation / M. K. O'Brien, S. Y. Shin, R. Khazanchi [et al.] // IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine. – 2022. – Vol. 10. – P. 2100711.

УДК 517.9

ТЕОРЕМА ШТУРМА О ЧИСЛЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА НА ЗАДАННОМ ОТРЕЗКЕ

Студент гр. 11307125 Духновская М. В.

Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В данной работе рассматривается фундаментальный метод алгебры и теории устойчивости, который определяет точное количество различных действительных корней многочлена на заданном интервале путем анализа знаковых изменений в специально построенной последовательности функций. Для решения подобных задач были разработаны математические методы, не требующие непосредственного вычисления корней.

Теорема Штурма. Теорема дает эффективный способ определения на заданном интервале $[a, b]$ числа различных действительных корней многочлена $f(x)$ с действительными коэффициентами, не содержащем кратных корней. Основная идея заключается в построении специальной последовательности функций – ряда Штурма, по изменению знаков которой судят о количестве корней [1–3].

Построение ряда Штурма. Рассмотрим упорядоченную конечную систему действительных чисел, отличных от нуля, например:

$$1; 4; 3; -8; -4; 1; -2; 3; 1.$$

Выпишем знаки этих чисел:

$$+; +; +; -; -; +; -; +; +.$$

В данной системе имеют место три перемены знаков, так как числа с противоположными знаками стоят рядом три раза.

Пусть многочлен $f(x)$ с действительными коэффициентами не имеет кратных корней. Для того чтобы найти число действительных корней многочлена $f(x)$, заключенных между a и b , требуется установить, насколько уменьшается число перемен знаков в системе Штурма этого многочлена при переходе от a к b .

Рассмотренный метод представляет собой мощный инструмент качественного анализа полиномов, не требующий нахождения корней. Теорема Штурма является классическим результатом вычислительной алгебры, позволяющим точно локализовать действительные корни путем построения знакопеременной последовательности и подсчета сигнатур. Ее применение особенно эффективно в задачах отделения корней. Определим количество действительных корней многочлена $f(x) = x^3 - 3x - 1$ на интервале $(-\infty, +\infty)$. Берем производную f_1 от исходного многочлена f

и делим исходный многочлен на его производную, получаем остаток $(-2x - 1)$. Берем его с обратным знаком $f_2(x) = 2x + 1$. Делим производную на остаток с обратным знаком и получаем остаток $-2,25$. Берем его с обратным знаком $f_3(x) = 2,25$. После этого нам нужно посчитать количество перемен знака $w(x)$ в последовательности (f, f_1, f_2, f_3) в граничных точках.

При $x \rightarrow -\infty$: $f(-\infty) = > -, f_1(-\infty) = > +, f_2(-\infty) = > -, f_3(-\infty) = > +$. Последовательность знаков: $(-, +, -, +)$. Количество перемен знака $w(-\infty) = 3$.

При $x \rightarrow +\infty$: $f(+\infty) \rightarrow +, f_1(+\infty) \rightarrow +, f_2(+\infty) \rightarrow +, f_3(+\infty) \rightarrow +$. Последовательность знаков: $(+, +, +, +)$. Количество перемен знака $w(+\infty) = 0$.

Применение теоремы Штурма. Количество вещественных корней на интервале (a, b) равно $w(a) - w(b)$. Число корней $w(-\infty) - w(+\infty) = 3 - 0 = 3$. Следовательно, многочлен $f(x) = x^3 - 3x - 1$ имеет три действительных корня.

Теорема Штурма представляет собой быстрый метод качественного анализа многочленов. Позволяя точно подсчитать количество корней на любом интервале путем простого сравнения знаков конечного набора функций, она заложила основы для развития вычислительных методов отделения корней.

Литература

1. Прасолов, В. В. Многочлены / В. В. Прасолов. – М.: МЦНМО, 2003. – 336 с.
2. Курош, А. Г. Курс высшей алгебры / А. Г. Курош. – СПб.: Лань, 2026. – 432 с.
3. Стативко, Е. В. Теорема Штурма / Е. В. Стативко, Н. А. Рубцов // Актуальные проблемы и инновации в науке и образовании: исследования молодых: материалы региональной науч.-практ. конф., Мелитополь, 2023 г. – Мелитополь, 2023. – С. 16–21.

УДК 531

ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ ВЫСОТЫ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Студент гр. 10301125 Змитрович А. Ю.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Изучение закономерностей изменения атмосферного давления и температуры с высотой является одной из фундаментальных задач физики атмосферы и гидростатики. Актуальность данной темы обусловлена широким спектром практических задач. При рассмотрении изменения давления от высоты, часто используется барометрическая формула для атмосферы, имеющей постоянную температуру T (изотермическая модель, формула Лапласа)[1].

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}. \quad (1)$$

В данной работе выведена формула описывающая зависимость давления от высоты при линейном уменьшении температуры и проведено сравнение с известной формулой. Рассмотрим вертикальный столб воздуха в поле силы тяжести Земли. Разность давлений dp на торцах этого столба высотой dh определяется весом газа: $dp = \rho g dh$. Подставив выражение для плотности из уравнения состояния идеального газа $\rho = \frac{pM}{RT}$ (M – молярная масса воздуха, R – универсальная газовая постоянная) получим: $dp = -\frac{pM}{RT} g dh$. Разделив переменные:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{RT} dh.$$

В нижних слоях атмосферы (тропосфере до 11 км) температура убывает линейно с ростом высоты. Это описывается формулой: $T = T_0 - G_T h$, T_0 – температура у поверхности Земли (в Кельвинах), G_T – вертикальный температурный градиент (для стандартной атмосферы $6,5 \cdot 10^{-3}$ К/м [2]). Подставив эту зависимость температуры в предыдущее уравнение, получим:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{R(T_0 - G_T h)} dh.$$

Для получения зависимости $p(h)$ проинтегрируем левую часть от p до p_0 , а правую – от 0 до h :
 $\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{R} \int_0^h \frac{dh}{T_0 - G_T h}$. Левая часть дает: $\ln \frac{p}{p_0}$. Правая часть (используя табличный интеграл $\int \frac{dx}{a-bx} = \frac{1}{b} \ln(a-bx)$):

$$\int_0^h \frac{dh}{T_0 - G_T h} = -\frac{1}{G_T} \ln(T_0 - G_T h) \Big|_0^h = -\frac{1}{G_T} \ln \frac{T_0 - G_T h}{T_0} = -\frac{1}{G_T} \ln \left(1 - \frac{G_T}{T_0} h\right).$$

Тогда: $\ln \frac{p}{p_0} = \frac{Mg}{RG_T} \ln \left(1 - \frac{G_T}{T_0} h\right)$. В результате итоговая зависимость давления от высоты:

$$p(h) = p_0 \left(1 - \frac{G_T}{T_0} h\right)^{\frac{Mg}{RG_T}}. \quad (2)$$

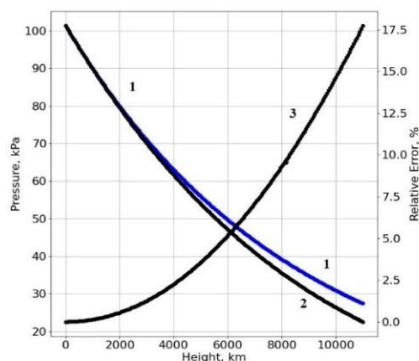


Рис. 1. Зависимость давления от высоты

В результате получили, что в отличие от изотермической модели, где зависимость экспоненциальная, здесь получили зависимость степенную. На рисунке представлены зависимости давления от высоты, рассчитанные по формуле (1) – 1, по формуле (2) – 2, и относительная погрешность 3. По степенной формуле давление уменьшается быстрее, но заметное отличие, когда относительная разница превышает 5 %, начинается с высоты 6 км.

Литература

1. Атмосфера стандартная. Параметры: ГОСТ 4401–81. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 181 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: в 5 т. / Д. В. Сивухин. – 5-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика. – 544 с.

УДК 004.091

БЕЛОРУССКИЙ ВКЛАД В ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕВОЛЮЦИИ

Студенты гр. 11307125 Илькевич А. А., Духновская М. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Информационные революции – это этапы кардинальных изменений в методах получения, хранения, обработки и распространения данных, определяющие развитие человеческой цивилизации. Первая революция связана с изобретением письменности, вторая – с изобретением книгопечатания, что привело к массовому распространению книг и прессы [1]. Франциск Скорина, белорусский первопечатник XVI века, сыграл ключевую роль во второй информационной революции, издав первые книги на белорусском языке. Это сделало его вклад широко известным в мировой истории [2]. Однако есть и другие ученые, которые внесли весьма значимый вклад в последующие революции. Целью данной работы является анализ вклада, внесенного в информационные революции Яковом Наркевичем-Йодко и Жоресом Алферовым.

Яков Отторионович Наркевич-Йодко (1847–1905) – один из наиболее выдающейся ученых Беларуси. Это был очень разносторонний ученый. Он был автором многих работ и изобретений и первооткрывателем работ по электричеству в живых организмах [3]. Его методы электротерапии и диагностики используются в настоящее время. В 1890 году Наркевич-Йодко провел эксперименты с регистрацией грозных разрядов. Разработанная им система регистрации электрических сигналов в атмосфере включала в себя элементы радио и фактически это была первая разработка

радиоприемника. Таким образом, Наркевич-Йодко внес значительный вклад в третью информационную революцию, которая была связана с изобретениями телефона, телеграфа и радио. Это позволило передавать информацию на большие расстояния с огромной скоростью. Работы Наркевича-Йодко в медицине, в визуализации живых организмов, в регистрации электрических сигналов в атмосфере опережали время. К сожалению, имя Наркевича-Йодко на долгие годы было незаслуженно забыто и только сейчас начались интенсивные исследования его великого наследия [4].

Жорес Иванович Алферов (1930–2019) – советский и белорусский физик, Нобелевский лауреат, родился в Витебске и значительную часть жизни связал с Беларусью и Ленинградом. После окончания школы он поступил на энергетический факультет Белорусского политехнического института (ныне БНТУ), где успешно отучился несколько семестров, после чего перевелся в Ленинград. Там же работал в Физико-техническом институте. Основные достижения Алферова связаны с созданием гетероструктур – слоистых полупроводниковых материалов с контролируемым составом [5]. Разработки Алферова привели к возможности миниатюризации элементов компьютеров и переходу к технологии интегральных схем. Гетеролазеры на основе двойных гетероструктур генерируют стабильный инфракрасный свет для передачи данных по оптоволокну. Без них невозможны высокоскоростной интернет, мобильная связь и дата-центры: сигналы от смартфона до сервера идут именно через такие лазеры. В высокочастотных транзисторах на GaAs/AlGaAs-гетероструктурах электроны движутся с огромной скоростью в специальном канале [5]. Это обеспечивает работу радаров, спутникового ТВ, Wi-Fi-роутеров и базовых станций сотовой связи на частотах до 100 ГГц. Эти разработки стали фундаментом четвертой информационной революции. За эти разработки Алферов в 2000 году получил Нобелевскую премию по физике.

По результатам исследования можно сделать вывод, что белорусские ученые внесли значительный вклад в информационные революции. Их работы, осуществленные в различных исторических периодах и областях знания, заложили основы для понимания и использования фундаментальных физических принципов, а также привели к созданию технологий, кардинально изменивших мир.

Литература

1. Городнова, А. А. Развитие информационного общества: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. А. Городнова. – М.: Юрайт, 2017. – 234 с.
2. Скорина, Франциск // Центральная научная библиотека имени Якуба Коласа Национальной академии наук Беларуси: [сайт]. – URL: <https://csl.bas-net.by/personalii/skorina-franczisk/> (дата обращения: 15.02.2026).
3. Грыбкоўскі, В. П. Прафесар электраграфіі і магнетызму: Якуб Наркевіч-Едка / В. П. Грыбкоўскі, В. А. Гапоненка, У. М. Кісялеў. – Мінск: Навука і тэхніка, 1988. – 69 с.
4. Яков Оттонович Наркевич-Йодко (1847–1905): биобиблиографический указатель / Национальная академия наук Беларуси, Комиссия по истории науки, Центральная научная библиотека им. Я. Коласа; [сост.: Н. Ю. Березкина, О. А. Гапоненко; научн. ред. В. Н. Киселев]. – Мн.: Беларус. навука, 2010. – 240 с.
5. Алферов, Ж. И. Двойные гетероструктуры: концепция и применения в физике, электронике и технологии / Ж. И. Алферов // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170, № 9. – С. 1067–1086.

УДК 510.3

ПРИМЕР ТАРСКОГО

Студент гр. 11307125 Илькевич А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В 1924 году Стефан Банах и Альфред Тарский опубликовали теорему, ставшую одним из самых неожиданных результатов математики XX века [1]. Они доказали, что шар можно разбить на конечное число непересекающихся частей, из которых с помощью одних лишь движений (поворотов и переносов) собирается два шара, каждый того же радиуса, что и исходный [1]. В наиболее популярной формулировке это звучит как «горошину можно разрезать на куски и собрать из них Солнце» или «из одного апельсина можно сделать два таких же» [1]. Данная работа рассматривает математическую природу этого феномена, его связь с аксиомой выбора и контраст с классической теорией объема, восходящей к третьей проблеме Гильберта.

Парадокс удвоения шара. Формулировка теоремы (сильная версия): любые два ограниченных подмножества трехмерного евклидова пространства с непустой внутренностью являются равносоставленными. Два подмножества X и Y называются равносоставленными, если существует взаимно однозначное отображение $f: X \rightarrow Y$, которое каждому элементу множества X ставит

в соответствие единственный элемент множества Y , и при этом каждый элемент из Y имеет единственный прообраз в X [2, 3].

Ключевой элемент доказательства – использование аксиомы выбора. Она позволяет создать множество, содержащее ровно по одной точке из каждой орбиты вращения специально подобранной бесконечной группы поворотов. Полученные таким образом «куски» шара являются математическими абстракциями, которые неизмеримы по Лебегу – для них понятие объема не определено [2]. Именно поэтому и возможно существование парадокса.

Парадокс невозможен на плоскости (R^2). Стефан Банах доказал, что на плоскости можно ввести конечно-аддитивную меру (площадь), которая будет инвариантна относительно движений и определена для всех ограниченных множеств [1]. Следовательно, круг не может быть равносоставлен двум кругам того же радиуса. Однако и здесь есть свои особенности: например, круг равносоставлен квадрату той же площади. Эта задача, известная как «квадратура круга Тарского», была решена Миклошем Лацковичем лишь в 1990 году. Это показывает, что даже на плоскости понятие равносоставленности допускает нетривиальные преобразования, но без нарушения меры. Однако в пространствах размерности 3 и выше группа вращений достаточно сложна (содержит свободную подгруппу), чтобы допустить парадоксальное разложение [3].

Контраст с проблемой Гильберта. Парадокс Банаха-Тарского находится на противоположном полюсе относительно классической теории объемов, сформулированной в третьей проблеме Гильберта (1900 г.). Гильберта интересовало, можно ли два многогранника равного объема всегда перекроить один в другой, разрезая на многогранные части. Макс Ден доказал, что нельзя, введя инвариант (сумма произведений длин ребер на функцию двугранных углов), который сохраняется при многогранных разрезаниях. Например, куб и равновеликий правильный тетраэдр имеют разные инварианты Дена и потому не являются равносоставленными [3].

Пример Тарского показал, что если отказаться от требования многогранности частей и допустить использование аксиомы выбора для оперирования с неизмеримыми множествами, то возможности «перекроя» фигур становятся парадоксальными.

Пример Тарского (парадокс Банаха-Тарского) не является логическим противоречием математики. Он указывает на принципиальное ограничение: интуитивное понятие объема (меры) нельзя распространить на все подмножества пространства, сохранив свойства аддитивности и инвариантности относительно движений. Таким образом, этот результат очерчивает границу между классической геометрией объемов и современной теорией множеств, подчеркивая важность того, какие именно части разрешено использовать при разбиении.

Литература

1. Губа, В. С. «Парадокс» Банаха–Тарского / В. С. Губа, С. М. Львовский. – М.: МЦНМО, 2012. – 45 с.
2. Яценко, И. В. Парадоксы теории множеств / И. В. Яценко. – М., 2002. – 40 с.
3. Болтянский, В. Г. Третья проблема Гильберта / В. Г. Болтянский. – М.: Наука, 1977. – 208 с.

УДК 519.21

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТИ В АЗАРТНЫХ ИГРАХ

Студенты гр. 10401325 Качкан Д. Е., Шарко О. Д.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Прусова И. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Теория вероятностей сформировалась в XVII веке, когда Б. Паскаль, П. Ферма заложили основы понятия математического ожидания и комбинаторные методы подсчета шансов, а позже Х. Гюйгенс ввел понятия числовой меры вероятности события и математического ожидания случайной величины. Впоследствии с этого выросла отдельная ветвь математики, ставшая важнейшим инструментом исследования случайных процессов в самых разных областях. Современные казино, включая онлайн-казино, строят свою работу именно на вероятностных принципах. Независимо от технических особенностей игр, остается неизменным общее правило: чем выше шанс выигрыша, тем меньше ожидаемый выигрыш.

Понятие вероятности. В основе любой азартной игры лежит вероятность – численная мера возможности наступления определенного события. Если общее число равновозможных исходов опыта равно n , а число благоприятных исходов – m , то вероятность события A выражается формулой:

$$P(A) = \frac{m}{n}, 0 \leq P(A) \leq 1. \quad (1)$$

Для независимых событий A и B :

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B). \quad (2)$$

А для несовместимых событий:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B). \quad (3)$$

Также важным понятием является *математическое ожидание*, то есть средний результат многократного повторения игры, где x_i – возможный выигрыш или проигрыш, а p_i – вероятность его наступления.

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i. \quad (4)$$

Если $M(X)$ отрицательно, игра в целом невыгодна игроку; если положительно – игрок имеет статистическое преимущество.

Пример: рулетка. В рулетке находятся 37 секторов, с числами от 0 до 36. Вероятность выпадения конкретного числа. При выплате 35 к 1 математическое ожидание для игрока остается отрицательным и составляет около 2,7 % от ставки.

$$P = \frac{1}{37} \approx 0,027 \quad M = 35 \cdot \frac{1}{37} - 1 \cdot \frac{36}{37} = -\frac{1}{37} \approx -0,027 \quad (5)$$

Ставки на цвет (красное или черное) имеют вероятность выигрыша, однако итоговый результат также остается в пользу казино. Независимо от типа ставки преимущество сохраняется за игорным заведением.

Литература

1. Мацкевич, И. Ю. Теория вероятностей и математическая статистика. Практикум / И. Ю. Мацкевич, Н. П. Петрова, Л. И. Тарусина. – Мн.: РИПО, 2017. – 199 с.
2. Гюйгенс, Х. О расчетах в азартных играх / Х. Гюйгенс; пер. с лат. под ред. Л. С. Фреймана. – М.: Наука, 1975. – 112 с.
3. Колмогоров, А. Н. Основные понятия теории вероятностей / А. Н. Колмогоров. – 2-е изд. – М.: Наука, 1974. – 120 с.

УДК 621.382.32

УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Студенты гр. 10903725 Колтович А. И., Круталевич Д. Р.

Кандидат физ.-мат. наук Красовский В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В повседневной жизни человек постоянно имеет дело с электростатическими полями. Самой распространенной причиной их возникновения является трение поверхностей двух различных тел [1]. Электростатическое поле – поле, создаваемое неподвижными относительно используемой инерциальной системы отсчета электрическими зарядами.

В технике активно используются усилители постоянного тока – устройства, предназначенные для усиления медленно меняющихся во времени электрических сигналов, включая постоянную составляющую, без искажений. Большое распространение получили усилительные каскады на полевых транзисторах, так как они обладают большим входным сопротивлением по сравнению с усилительными каскадами на биполярных транзисторах. Малый входной ток, за счет высокого входного сопротивления полевого транзистора, обеспечивает высокое отношение полезного сигнала к собственному шуму и конструировать высокочувствительные усилители в измерительной технике. Усилитель на полевом транзисторе имеет высокий коэффициент усиления сигнала и малый уровень искажений [2].

Нами была рассмотрена возможность использования усилителя постоянного тока на n -канальном полевом транзисторе с управляющим p - n -переходом для обнаружения электрического заряда на поверхности твердых тел. Электрическая схема используемого устройства представлена на рис. 1.

В цепи истока и стока используются потенциометры, чтобы быстро подбирать необходимые данные и калибровать данную цепь. Входное напряжение подается на затвор с помощью антенны. При приближении антенны к заряженному телу, поле наводит в антенне ЭДС и на цепь затвора подается входное напряжение, которое и управляет работой транзистора. В цепи затвора использовался конденсатор, который заряжается при попадании антенны в область электростатического поля и поддерживает входное напряжение, пока не разрядится. Выходное напряжение подается на нагрузку, которой в данной схеме является светодиод. Он служит индикатором наличия электростатического поля около твердых тел, что свидетельствует о наличии на их поверхности отрицательного электрического заряда при условии использования n -канального транзистора.

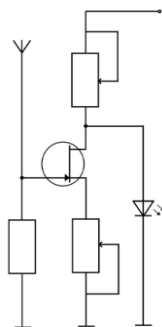


Рис. 1. Схема усилителя постоянного тока с резистором

При отсутствии напряжения на затворе транзистор открыт. Тогда калибровочные потенциометры, как делители напряжения на светодиоде, подбираются несколько ниже порога его зажигания. При запираании транзистора светодиод загорается, а величина R стока определяет рабочий ток светодиода. Транзистор с каналом n -типа запирается, если антенну, соединенную с его затвором, поместить в электрическое поле с отрицательным потенциалом. Для регистрации тока с положительным потенциалом следует исследовать p -канальный транзистор. Вблизи порога срабатывания индикатора работает неустойчиво, если смещение на затворе определяется резистором R затвора. Для большей стабильности можно заменить данный резистор с R затвора на конденсатор.

Литература

1. Статическое электричество: защита, возникновение // Asutpp.ru. – URL: <https://www.asutpp.ru/-staticheskoe-elektrichestvo.html?ysclid=mm5chqpg3h99455324> (дата обращения: 25.02.2026).
2. Усилители постоянного тока // Studopedia.ru. – URL: https://studopedia.ru/5_76283_usiliteli-postoyannogo-toka.html?ysclid=mm5dtiw4tq820215172 (дата обращения: 26.02.2026).

УДК 681.2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТЕНТОВ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ

Аспирант Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Математические принципы лежат в основе проектирования стентов на всех этапах – от геометрии до механики. Они используются на этапе геометрического моделирования основы конструкции, задания параметрически поверхности. Для проектирования сетки используется теория графов. Для осуществления механического анализа используется метод конечных элементов. Также математические модели позволяют решить задачу минимизации массы стента при сохранении его прочности. Также математические принципы используются на этапе расчета траектории лазера для резки трубки.

Математика позволяет не просто описать, но и оптимизировать стенты по множеству критериев: минимальное сопротивление потоку, максимальная гибкость, равномерное распределение напряжений, минимальная травматичность для сосуда.

Рассмотрим представление математической модели спирали в Wolfram Mathematica. Wolfram Mathematica прекрасно подходит для создания визуализаций сложных трехмерных структур различной природы [1–2], таких как стент. Вот несколько подходов, от самых простых до более реалистичных. Задаем его геометрические параметры. Результат визуализации представлен на рис. 1.

Также на рис. 1 представлен результат анализа равномерного расширения математической модели стента. Wolfram Mathematica позволяет анимировать весь процесс его расширения.

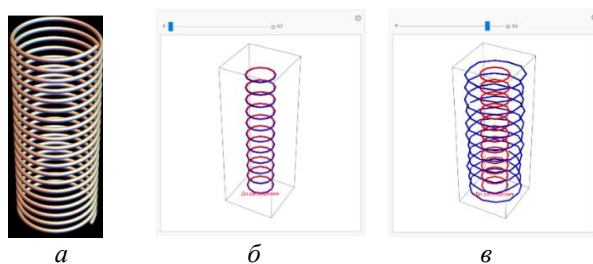


Рис. 1. Модель спирали (а); цилиндрическая решетка (б); моделирование расширяющегося стента (в)

На рисунке 2 представлена оценка для травматичности для сосуда в виде плотностного распределения.

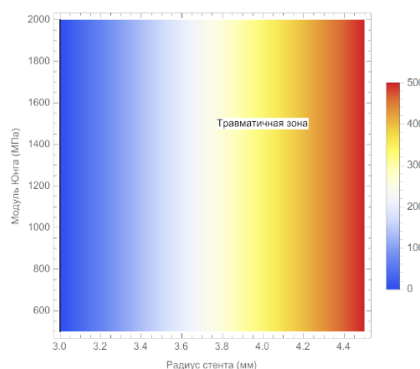


Рис. 2. Значения давления на стенки сосуда в зависимости от радиуса стента и характеристик материала

Литература

1. Гундина, М. А. Применение соотношений теории течения для решения задач установившегося роста трещины / М. А. Гундина, О. В. Юхновская // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 229–235.
2. Гундина, М. А. Энергетические инварианты в теории упругопластических трещин / М. А. Гундина // Наука и техника. – 2017. – № 4. – С. 355–362.

УДК 681.2

ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЗОН В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА СТЕНКИ СОСУДОВ

Аспирант Кондратьева Н. А., студент Хакназаров Б.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Рассмотрим задачу определения давления на стенки сосудов при использовании стента. Wolfram Mathematica прекрасно подходит для создания визуализаций сложных трехмерных структур различной природы [1–2], таких как стент.

Зададим пользовательскую функцию:

```
arteryPressure[stentRadius_,arteryRadius_,youngModulus_] := youngModulus*(stentRadius-arteryRadius)/arteryRadius
```

Строим плотностной график давления:

```
DensityPlot[arteryPressure[r,3.0,1000],{r,3.0,4.5},{youngModulus,500,2000},FrameLabel->{"Радиус стента (мм)","Модуль Юнга (МПа)},ColorFunction->"TemperatureMap",PlotLegends->Automatic,Epilog->{Line[{3.0,500},{3.0,2000}],(*Идеальный радиус*)Text["Травматичная зона",{4.0,1500},Background->White]}] (рис. 1).
```

Для генерации данных для анализа используем следующую команду: `data=Flatten[Table[{r,youngModulus,arteryPressure[r,3.0,youngModulus]},{r,3.0,4.5,0.1},{youngModulus,500,2000,100}],1];`

Задаем числовые характеристики:

```
stats={"Mean"->Mean[data[[All,3]]],"Median"->Median[data[[All,3]]],"Std"->StandardDeviation[data[[All,3]]],"Min"->Min[data[[All,3]]],"Max"->Max[data[[All,3]]],"Q1"->Quantile[data[[All,3]],0.25],"Q3"->Quantile[data[[All,3]],0.75]}
```

Находим аномальные значения. На рис. 1 представлена оценка для травматичности для сосуда в виде плотностного распределения.

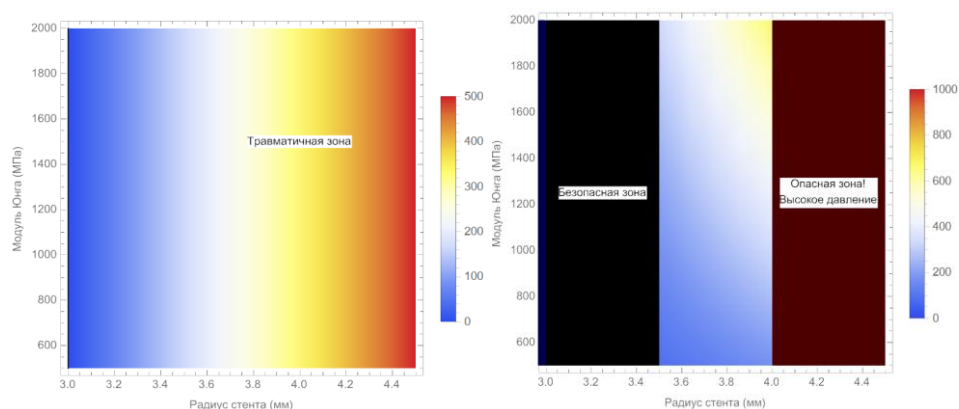


Рис. 1. Значения давления на стенки сосуда в зависимости от радиуса стента и характеристик материала

Литература

1. Гундина, М. А. Применение соотношений теории течения для решения задач установившегося роста трещины / М. А. Гундина, О. В. Юхновская // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 3. – С. 229–235.
2. Гундина, М. А. Энергетические инварианты в теории упругопластических трещин / М. А. Гундина // Наука и техника. – 2017. – № 4. – С. 355–362.

УДК 681

АЛГОРИТМ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ МАЯТНИКА В РЕЖИМЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ПРИ КАЧЕНИИ

Магистрант Красневский Д. Ю.

Кандидат техн. наук, доцент Ризноокая Н. Н., кандидат техн. наук Пантелеев К. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Изучение трения качения в режиме предварительных смещений (микросмещений, существенно меньших размера пятна контакта) необходимо для понимания адгезионных и гистерезисных механизмов, определяющих стартовое трение в высокоточных узлах [1]. Экспериментальное исследование таких эффектов требует бесконтактных методов измерения, не вносящих дополнительного демпфирования. Перспективным подходом является использование маятниковых систем с оптической регистрацией угла.

Цель работы – разработка программного комплекса для прецизионного измерения угла отклонения физического маятника на основе обработки видеопотока от CMOS-матрицы.

Методика эксперимента. Измерения выполнены на маятнике с опорой на один шарик (радиус 10 мм, материал Si_3N_4 , масса 77,38 г), контактирующем с полированной стеклянной пластиной (K8). Угол отклонения регистрируется бесконтактным методом: луч лазера отражается от зеркала на маятнике и попадает на CMOS-матрицу (144×176 пикселей, 30 Гц). Связь линейного смещения пятна Δy с углом поворота маятника φ : $\Delta y = 2L \cdot \varphi$, где L – оптическое плечо.

Алгоритм обработки видеоданных (MATLAB). Программный комплекс реализован в виде четырех модулей, выполняющих последовательное преобразование видеок кадров в динамические параметры колебаний.

– Определение центра пятна. Для каждого кадра строится одномерный профиль интенсивности путем усреднения по столбцам. Координата центра вычисляется как центр масс взвешенного сигнала в области, превышающей порог шума [2]. Это обеспечивает разрешение, ограниченное собственным шумом матрицы.

– Компенсация перекоса осей. Короткий стационарный участок видеозаписи используется для оценки угла между фактической траекторией пятна и вертикалью. Все последующие

координаты поворачиваются на этот угол, устраняя систематическую погрешность, вызванную несовпадением осей матрицы и плоскости качаний маятника.

– Выделение периода и амплитуды. Из временного ряда $Y(t)$ после вычитания «линии нуля» (среднее по конечному участку) интерполяцией уточняются моменты пересечения нуля при движении сверху вниз. Период T_j вычисляется как разность соседних моментов. Для каждого полупериода данные аппроксимируются гармонической функцией $Y(t) = A_j \cdot \sin(2\pi \cdot (t - t'_j) / T_j)$ с использованием нелинейного метода наименьших квадратов (функция *nlinfit*). Полученное значение A_j принимается за амплитуду.

– Статистическое сглаживание. Для подавления шумов применяется сглаживание гауссовым ядром (для амплитуд) и симметричное линейное сглаживание методом наименьших квадратов (для периодов). Это позволяет получить гладкие зависимости $A(t)$ и $T(A)$, пригодные для дальнейшего анализа.

Оценка погрешностей. Случайная погрешность определения угла (по записи неподвижного маятника) составила 0,24 угл. секунды. Систематическая погрешность калибровки не превышает 1,5 %. Относительная погрешность измерения периода определяется нестабильностью кварцевого генератора ($\approx 10^{-4}$) и для $T \approx 2$ с составляет $\delta T \approx 2 \cdot 10^{-4}$ с. Для амплитуд от 2 до 500 угл. секунд абсолютная погрешность не превышает 3,3 угл. секунды.

Экспериментальные результаты. Зарегистрированы свободные затухающие колебания маятника с начальной амплитудой 153 угл. секунды. Полученная зависимость $A(t)$ имеет неэкспоненциальный вид, характерный для нелинейного трения в области микросмещений [1]. Наблюдается анизохронность: при уменьшении амплитуды от 153 до 5 угл. секунды период колебаний монотонно сокращается на 0,12 с (6 % от начального значения), что подтверждает наличие дополнительной квазиупругой составляющей, обусловленной адгезией. Коэффициент сопротивления качению, рассчитанный по полученной кривой затухания, составил $(2,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-6}$, что согласуется с литературными данными и подтверждает корректность работы измерительного комплекса.

Разработанный алгоритм обработки видеоданных в среде MATLAB позволяет преобразовывать сигналы стандартной CMOS-матрицы в прецизионную угловую траекторию маятника с погрешностью, обусловленной собственным шумом фотоприемника. Методика обеспечивает измерение углов в диапазоне от 2 до 500 угл. секунд и дает возможность выделять нелинейные эффекты, критически важные для исследования трения качения в режиме предварительных смещений [1]. Программный комплекс может быть использован в учебных и научных экспериментах по динамике маятниковых систем, а также для решения прикладных задач трибологии.

Литература

1. A phenomenological model for pre-rolling friction in single-ball pendulum / S. Mekid [et al.] // Tribology International. – 2023. – Vol. 177. – P. 107954.
2. Umbaugh, S. E. Digital image processing and analysis: applications with MATLAB and CVIPtools. – CRC press, 2017. – 897 p.

УДК 535.341: 621.9.048.7

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ НА РЕЖИМЫ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА В МЕТАЛЛАХ

Студент гр. 11303123 Кузнецов А. С.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Излучение импульсных лазеров широко применяется для обработки металлов, включая резку, сварку, маркировку и термическую обработку поверхностей [1]. Температура материала определяется поглощенной плотностью мощности излучения [2]. Вычисления температур нагрева при импульсных лазерных воздействиях обычно проводится для постоянных значений поглощательной способности. Однако коэффициент поглощения A большинства металлов зависит от температуры T [3].

В настоящей работе проведено исследование влияния температурной зависимости поглощения на режимы лазерной обработки металлов. Моделирование проведено для облучения лазерными импульсами длительностью 100 нс с длиной волны 1,06 мкм в программе Mathcad. Предполагалось однородное распределение плотности мощности энергии облучения по поверхности

металла, что позволило ограничиться одномерной задачей. Вычисления проводились для меди и вольфрама для оптических и теплофизических параметров, приведенных в [2].

Временные зависимости температуры поверхности при постоянном коэффициенте описывались формулой, полученной из решения одномерного уравнения теплопроводности с постоянными коэффициентами операционным методом [2]:

$$T_s(t) = T_0 + \frac{2qA_0}{k\sqrt{\pi}}\sqrt{at}, \quad (1)$$

где $T_s(t)$ – температура поверхности в момент времени t , T_0 – начальная температура, равная 293 К, q – плотность мощности лазерного излучения, A_0 – коэффициент поглощения при T_0 , k – коэффициент теплопроводности, a – коэффициент температуропроводности. В результате наших вычислений установлено, что для нагрева до температуры плавления импульсом 100 нс нужна плотность мощности облучения $q_m = 1,2 \times 10^8$ Вт/см² (Cu, температура плавления $T_m = 1356$ К) и $q_m = 6,3 \times 10^7$ Вт/см² (W, $T_m = 3653$ К).

Температурная зависимость коэффициента поглощения может аппроксимироваться линейной функцией $A(T) = a_0 + bT$, причем $a_0 = 0,028$ и $b = 0,14 \times 10^{-4}$ К⁻¹ для Cu, $a_0 = 0,24$ и $b = 1,03 \times 10^{-4}$ К⁻¹ для W [3]. Для нахождения временной зависимости температуры поверхности мы разбили изучаемый промежуток времени на n равных частей, и воспользовались следующей итерационной формулой:

$$T(t_i) = T_i = T_{i-1} + \frac{2q(a_0 + bT_{i-1})}{k\sqrt{\pi}}\sqrt{a(t_i - t_{i-1})}. \quad (2)$$

Предполагалось, что в каждый временной промежуток начальное значение температуры равно значению температуры, полученному на предыдущем временном промежутке, при этой же температуре вычислялся коэффициент поглощения.

В результате получено, что учет температурной зависимости коэффициента поглощения ускоряет рост температуры поверхности, а точка плавления достигается за более короткий промежуток времени при одинаковых параметрах облучения. Если для выбранных условий облучения для постоянного коэффициента поглощения T_m в обоих металлах достигается к концу импульса 100 нс, то с учетом температурной зависимости коэффициента поглощения эти же температуры достигаются для меди за 8 нс, а для вольфрама за 7 нс. Таким образом, учет температурной зависимости поглощения ведет к значительному увеличению температуры, что необходимо учитывать при выборе режимов лазерной обработки металлов.

Литература

1. Вейко, В. П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Раздел: Введение в лазерные технологии / В. П. Вейко, А. А. Петров. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.
2. Вейко, В. П. Сборник задач по лазерным технологиям / В. П. Вейко, Е. А. Шахно. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 67 с.
3. Взаимодействие лазерного излучения с веществом / В. П. Вейко, М. Н. Либенсон, Г. Г. Червяков, Е. Б. Яковлев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 312 с.

УДК 004.032.26

ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Студенты гр. 11307225 Лебедев К. А., Полонник А. Ю.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Искусственные нейронные сети (далее нейронные сети) вырвались на новый уровень вместе с выходом GPT-3, модели чат-бота, которая дополняла введенный пользователем текст. Но основы нейронных сетей были заложены еще в 20 веке.

Часто сравнивают мозг и процессор, и их вычислительные возможности. Но структурно они отличаются: процессор производит вычисления линейно и последовательно, используя для этого заранее заложенные в него структуры. Мозг является нелинейной параллельно обрабатывающей системой, способной изменять свою структуру для лучшего выполнения поставленной задачи. Исходя из этого, люди пробовали создать модели нейронов и нейронных сетей для эффективного решения поставленных перед ними задач.

Идея о создании нейронных сетей появилась благодаря знанию работы нервной системы, где на вход подается сигнал, который обрабатывается цепью нейронов, и результат выходит в виде другого сигнала.

Нейрон – структурный компонент нейронной сети, одной из которых является мозг.

Первой моделью искусственного нейрона стала модель МакКаллока-Питса [1].

На вход в нейрон подаются сигналы от прошлых нейронов, измененные под воздействием синаптических весов. Результирующий сигнал получается из суммы полученных и сравнивается с пороговым значением. Если результат превысил пороговое значение, нейрон испускает 1, иначе – 0. Также часто используются – 1 и 1 в качестве выходных данных.

Модификация нейрона МакКаллока-Питса – сигмоидальный нейрон. В нем функцией активации выступает одна из двух функций: сигмоидальная униполярная (1) либо биполярная (2).

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-kx}), \quad (1)$$

$$f(x) = (e^{kx} - e^{-kx}) / (e^{kx} + e^{-kx}), \quad (2)$$

где k – константа.

Существует много способов обучения нейронных сетей. Например, обучение с учителем, обучение без учителя, обучение с подкреплением и так далее. В частности, мы рассмотрим метод обучения с учителем: персептрон.

Принцип персептрона очень прост: первичные синаптические веса распределяются случайным образом, на вход подаются данные с определенным предполагаемым результатом. Есть 3 возможных события и их исхода.

Если результат совпадает с ожидаемым результатом, веса не изменяются.

Если результат «0» при ожидаемом результате «1», веса перераспределяются по формуле:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + x_j, \quad (3)$$

где i – номер синапса, x_j – вектор обучения на текущем цикле, $(t+1)$ – номер текущего цикла.

Если же результат «1» при ожидаемом результате «0», веса перераспределяются по формуле:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - x_j. \quad (4)$$

Алгоритм возвращается к преобразованию входных данных и их сравнению в течение нескольких итераций, пока процент успешного выполнения задачи не будет высок.

Литература

1. Солдатова, О. П. Нейроинформатика: курс лекций / О. П. Солдатова. – Самара: СГАУ, 2013. – URL: <https://repo.ssau.ru/handle/Uchebnye-posobiya/Neiroinformatika-Elektronnyi-resurs-kurs-lekcii-55155> (дата обращения: 15.03.2026).

УДК 621.382.333.027.3-034.782-047.58

ДВУХМЕРНОЕ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КРЕМНИЕВОГО N-P-N ТРАНЗИСТОРА

Студент гр. 11305125 Левчук Р. В

Кандидат техн. наук, доцент Лагунович Н. Л

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В работе представлены результаты двухмерного приборно-технологического моделирования кремниевого биполярного высоковольтного n - p - n -транзистора средней мощности. Целью являлась разработка и оптимизация технологического маршрута изготовления прибора с пробивным напряжением коллектор-эмиттер свыше 80 В. Моделирование выполнялось в программном комплексе Synopsys [4] (TSuprem4 – для технологического этапа, Medici – для получения электрических характеристик). Показано, что применение САПР позволяет на этапе проектирования оценить параметры структур, минимизируя количество натурных экспериментов.

Биполярные транзисторы остаются востребованными компонентами в усилительных и генераторных схемах [5]. Программы технологического и приборного моделирования позволяют сократить затраты на разработку, заменив часть натурных экспериментов численными расчетами [2].

В данной работе исследуется кремниевый *n-p-n*-транзистор средней мощности, предназначенный для работы при токах коллектора до 0,5 А и рассеиваемой мощности 0,63 Вт.

Исследование проводилось с использованием программного комплекса Synopsys [4], включающего симуляторы TSuprem4 и Medici. Визуализация результатов осуществлялась в TaurusVisual. В качестве базового материала использовался кремний, применяемый в производственных условиях ОАО «ИНТЕГРАЛ». Теоретической основой для постановки задач моделирования послужили фундаментальные работы по физике полупроводниковых приборов [3].

Моделирование технологического маршрута включало следующие этапы: выбор подложки с эпитаксиальным слоем *n*-типа толщиной 20–25 мкм, формирование базы *p*-типа ионным легированием бором, создание эмиттера *p*+-типа диффузией фосфора, формирование изоляции и контактов. Используемые подходы к моделированию диффузионных процессов основаны на методах, описанных в работе [1].

В результате получена структура транзистора общей площадью сечения 5 940 мкм². Сравнение расчетных параметров с требованиями конструкторской документации показало приемлемую сходимость: глубина залегания перехода база-эпитаксий (отклонение 3,81 %), поверхностное сопротивление базы (17,89 %), глубина залегания эмиттера (20,00 %), толщина защитных окислов (15,5 % и 23,1 %). Учитывая, что допустимый технологический разброс на производстве может достигать 25 % [5], полученные результаты позволяют перейти к изготовлению экспериментальных образцов.

На этапе приборного моделирования в Medici были рассчитаны вольт-амперные характеристики транзистора. Анализ прямой ветви ВАХ позволил определить пороговое напряжение $\approx 0,66$ В (при токе 100 мкА). Исследование обратной ветви ВАХ показало, что пробивное напряжение коллектор-эмиттер структуры составляет 183 В, что более чем вдвое превышает требуемые по документации 80 В. Полученные параметры подтверждают работоспособность разработанного технологического маршрута.

В ходе работы выполнено полное двухмерное приборно-технологическое моделирование биполярного *n-p-n*-транзистора. Расхождение расчетных параметров с требованиями документации находится в пределах, допустимых для этапа проектирования (от 3,81 % до 23,1 %). Приборное моделирование подтвердило соответствие параметров заданным требованиям: пороговое напряжение 0,66 В, пробивное напряжение коллектор-эмиттер 183 В.

Литература

1. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов / П. Антонетти, Д. Антониадис, Р. Даттон, У. Оулдхем. – М.: Радио и связь, 1988. – 496 с.
2. Абрамов, И. И. Лекции по моделированию элементов интегральных схем / И. И. Абрамов. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 152 с.
3. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. – М.: Мир, 1984. – Ч. 1. – 455 с.
4. Synopsys [сайт]. – URL: <http://www.synopsys.com> (дата обращения: 15.03.2026).
5. Петухов, В. М. Биполярные транзисторы средней и большой мощности сверхвысокочастотные и их зарубежные аналоги: справочник / В. М. Петухов. – М.: КУБК-а, 1997. – Т. 4. – 544 с.

УДК 631.171:004.896

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Студент гр. 11305125 Левчук Р. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В настоящее время мы живем в эпоху 6-й информационной революции, связанной с развитием нейросетей и разработками искусственного интеллекта (ИИ). ИИ стремительно врывается в различные сферы человеческой деятельности, в том числе в такую важную область, как сельское хозяйство. Технологии ИИ оказывают влияние на различные отрасли сельского хозяйства, открывая пути к сверхэффективному и экологичному производству. Настоящая работа посвящена исследованию возможностей использования ИИ в растениеводстве и животноводстве.

Одним из наиболее успешных использований ИИ является его использование в прогнозировании. Нейронные сети благодаря обработке большого количества данных строят прогнозы, которые помогают принимать правильные решения в сфере планирования и управления в сельском хозяйстве.

В растениеводстве широко используется технология «компьютерного зрения» [1]. Под «компьютерным зрением» понимается в данном случае обработка изображений сельскохозяйственных угодий с помощью ИИ. В технологии получения изображений используются современные методы, включая получение изображений с помощью наземных роботов, воздушных беспилотных летательных аппаратов, зондирования с помощью спутников, инфракрасной съемки и др. «Компьютерное зрение» позволяет определять степень зрелости урожая, его можно использовать при оптимизации ирригации (искусственного орошения). «Компьютерное зрение» позволяет с высокой точностью выявлять признаки заболеваний растений, что повышает эффективность защиты сельскохозяйственных угодий. ИИ управляет теплицами, обеспечивая оптимальные условия для выращивания овощей, обнаруживает болезни растений и классифицирует сорняки.

Технологии искусственного интеллекта в сельском хозяйстве успешно применяются в животноводстве. С помощью ИИ оптимизируются процессы, занимающие много времени. К этим процессам относятся, например, мониторинг здоровья животных. ИИ обрабатывает данные специальных датчиков, фиксирующих температуру тела, сердечный ритм, активность, что позволяет своевременно выявлять ранние признаки болезней и предотвращать их распространение. ИИ используется для выработки рекомендаций по улучшению рациона животных. ИИ обрабатывает огромное число данных о генетике и производительности животных, помогая в выборе наиболее подходящих особей для размножения. ИИ используется для прогнозирования спроса и цен на животноводческую продукцию.

В сельском хозяйстве широко используются беспилотные летательные аппараты с ИИ, которые оснащены технологиями спутниковой навигации и системами «компьютерного зрения». В частности, они позволяют обеспечить контроль за внесением удобрений и пестицидов в почву.

В Беларуси большое внимание уделяется использованию ИИ в агросекторе [2]. Подобного рода исследованиями занимаются в Академии наук Беларуси [3, 4]. Эти исследования поддерживаются государственными программами.

Литература

1. Andrey_Biryukov. Компьютерное зрение в сельском хозяйстве: профиль пользователя / Andrey_Biryukov // Habr.com. – URL: https://habr.com/ru/users/Andrey_Biryukov/ (дата обращения: 19.02.2026).
2. Тренды цифровизации агросектора Беларуси // ibmedia.by. – URL: <https://ibmedia.by/news/trendy-tsifrovizatsii-agrosektora-belarusi> (дата обращения: 19.02.2026).
3. В Беларуси наблюдается рост использования цифровых технологий в сельском хозяйстве // SB.BY: Беларусь сегодня. – URL: <https://www.sb.by/articles/s-agrarnoy-tochnostyu.html> (дата обращения: 19.02.2026).

УДК 511(075)

ГИПЕРКОМПЛЕКСНЫЕ ЧИСЛА

Студент гр. 11305125 Лось А. П.

Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Исследование гиперкомплексных чисел остается одной из самых захватывающих областей математики, так как оно находится на стыке абстрактной алгебры, теоретической физики и современных компьютерных технологий. Традиционной системы действительных чисел (R) и комплексных чисел (C) сегодня недостаточно для решения ряда высокотехнологичных задач. Актуальность изучения гиперкомплексных систем (кватернионов, октав, седенионов и др.) обусловлена следующими факторами.

Развитие компьютерной графики и робототехники. Кватернионы (H) являются стандартом для описания поворотов в 3D-пространстве. Они эффективнее матриц, так как позволяют избежать «шарнирного замка» (gimbal lock) и требуют меньше вычислительных ресурсов.

Современная физика. Гиперкомплексные числа лежат в основе математического аппарата квантовой механики, теории относительности и теории струн. Октавы (числа Кэли) используются для описания симметрий в физике элементарных частиц.

Обработка сигналов и ИИ. Появляются нейронные сети, работающие на кватернионах, которые лучше сохраняют пространственные связи в изображениях и аудиосигналах по сравнению с традиционными сетями.

Криптография. Исследование некоммутативных и неассоциативных алгебр открывает новые возможности для создания алгоритмов шифрования, устойчивых к атакам.

В XIX веке математики исследовали все возможные способы, для того чтобы расширить существующие системы чисел. В эти существующие системы чисел входили на тот момент уже действительные и комплексные числа. При исследовании новой структуры было необходимо сохранить в ней все операции и привычные свойства, такие как коммутативность и ассоциативность.

Началом появления гиперкомплексных чисел послужило открытие кватернионов Уильямом Гамильтоном в 1843 г. Пытаясь обобщить комплексные числа (представляющие плоскость) на трехмерное пространство, Гамильтон понял, что необходима четвертая размерность, создав систему с тремя мнимыми единицами ($i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$), удовлетворяющими уравнению.

Основные этапы открытия. Поиск трехмерного описания: Гамильтон долгое время искал способ описывать повороты в трехмерном пространстве, подобно тому, как комплексные числа $a+bi$ описывают повороты на плоскости. Прогуливаясь по мосту Брум-Бридж в Дублине, Гамильтон осознал, что для непротиворечивого умножения векторов в трехмерном пространстве необходимо добавить еще одну, четвертую, составляющую.

Формула кватернионов: Он ввел гиперкомплексные числа вида $q = a + bi + cj + dk$ (где a, b, c, d – действительные числа), которые стали называться кватернионами.

Революция в алгебре: Кватернионы стали первым примером некоммутативной алгебры (где $ij \neq ji$), что противоречило классическим законам умножения.

Гиперкомплексные числа – это расширение понятия числа за пределы привычных для нас действительных (R) и комплексных (C) чисел. В алгебре они определяются как элементы конечномерных алгебр над полем действительных чисел. Простыми словами, это системы, в которых есть не одна «мнимая единица» i , а несколько, и они взаимодействуют друг с другом по определенным правилам.

Чтобы структура считалась гиперкомплексной системой, она должна обладать рядом свойств.

1. Наличие набора базисных векторов ($e_0, e_1, \dots, e_n$), где e_0 обычно играет роль единицы (1)
2. Любое число представляется в виде линейной комбинации:

$$A = a_0 e_0 + a_1 e_1 + \dots + a_n e_n, \quad a_i \in R$$

3. Введена операция умножения. Определена таблица умножения базисных элементов $e_i * e_j$, которая задает структуру всей системы.

Самый известный способ получения гиперкомплексных систем – это последовательное удвоение размерности. Процедура Кэли-Диксона позволяет получать новые сложные поколения чисел, теряя одно из привычных свойств.

Литература

1. Павлов, Д. Г. Гиперкомплексные числа в геометрии и физике / Д. Г. Павлов // Научный журнал. – 2003. – С. 3–111.
2. Кантор, И. Л. Гиперкомплексные числа / И. Л. Кантор, А. С. Солодовников. – М.: Рипол Классик, 1973. – С. 5–47.

УДК 004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЕРВЕРАМИ

Студент гр. 11305125 Лось А. П.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Искусственный интеллект (ИИ) стремительно врывается в самые разнообразные сферы человеческой деятельности. В настоящей работе рассмотрено использование ИИ при управлении серверами. Сервер – это мощный сетевой компьютер, представляющий услуги другим компьютерам сети по их запросам [1]. В зависимости от функций различают разные виды серверов: файловые, сервера баз данных, веб-сервера, игровые и др.

За работой сервера следит системный администратор. Часть задач, выполняемых человеком, можно делать с помощью ИИ. ИИ может взять на себя следующие функции по управлению сервером [2]. Мониторинг сети. ИИ отслеживает состояние сети и выявляет аномалии. Оптимизация работы серверов. ИИ регулирует ресурсы серверов в зависимости от нагрузки. Интеллектуальные алгоритмы могут динамически распределять вычислительные мощности между различными приложениями, обеспечивая максимальную производительность для критически важных

задач и экономя энергию, когда нагрузка снижается. Обновления. ИИ может в автоматическом режиме проводить обновление ПО. Прогнозирование. ИИ-системы анализируют миллионы метрик производительности, такие как температура процессора, использование памяти и дисковые операции, чтобы предсказать вероятность отказа жесткого диска или другого компонента за недели до реального сбоя. Это позволяет заблаговременно заменить оборудование и избежать простоя. Резервное копирование. Регулярное автоматическое сохранение информации снижает риск потери данных.

Для того, чтобы ИИ мог управлять работой сервера, его требуется обучить [3]. ИИ обучается на исторических данных о работе серверов: нагрузках, ошибках, времени отклика. При обучении используются алгоритмы машинного обучения для распознавания паттернов и прогнозирования. Система постоянно дообучается, адаптируясь к изменениям в инфраструктуре и рабочих нагрузках.

ИИ берет на себя рутинные и ресурсоемкие задачи, такие как мониторинг, анализ логов и первичная диагностика, освобождая время специалиста для решения более сложных и креативных проблем. Это партнерство позволяет повысить общую эффективность ИТ-инфраструктуры и ускорить реагирование на инциденты, обеспечивая более надежную и стабильную работу систем. В работе [3], в частности, показано, как использование ИИ уменьшает среднее время реакции на сетевые сбои, среднее количество сбоев в месяц, повышает точность прогнозов и сокращает время настройки оборудования.

Возможно, в будущем серверные системы будут полностью автономными, управляемыми ИИ без вмешательства человека. ИИ сможет самостоятельно диагностировать и устранять неполадки на аппаратном уровне и обеспечивать предиктивное масштабирование, системы будут предвидеть потребности в ресурсах, масштабируясь еще до пиковых нагрузок.

Таким образом, применение ИИ в управлении серверами открывает новые возможности для повышения эффективности, надежности и безопасности сетевых систем.

Литература

1. Урбанович, П. П. Компьютерные сети: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений по техн. специальностям / П. П. Урбанович, Д. М. Романенко, Е. В. Кабак. – Мн.: БГТУ, 2011. – 400 с.
2. Автоненко, М. Будущее управления серверами: тренды автоматизации, ИИ и облачной интеграции / М. Автоненко // Outsourcetit.by. – URL: <https://outsourcetit.by/budushhee-upravleniya-serverami-trendy-avtomatizaczi-i-i-oblachnoj-integraczi> (дата обращения: 22.02.2026).
3. Волосович, Е. С. Применение искусственного интеллекта в управлении и обслуживании компьютерных сетей / Е. С. Волосович, У. А. Малашонок // 60-я научная «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск, апрель 2024 г. – Мн.: БГУИР, 2024. – С. 267–269.

УДК 621.866.24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ВИНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ МЕХАНИЗМАХ

Студент гр. 11302123 Маковская В. М.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Красовский В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные механизмы сочетают в себе механику и электронику. С течением времени акцент в подобных механизмах сместился на электронную составляющую систем, незаслуженно забывая механику механизмов. В современной электронике большую популярность имеют дифференциальные усилители. В данной работе предлагается вернуться к классической механике и рассмотреть дифференциальные механизмы. Дифференциальный винт – механизм, состоящий из стержня с накатанными на него двумя резьбами с незначительно различающимся шагом и, в некоторых случаях, противоположными направлениями резьбы [1]. В случае с незначительно различающимися шагами резьб и одинаковым направлением первая резьба перемещается на длину шага X , вторая резьба на длину шага Y ($X > Y$), а ползун перемещается на разницу этих расстояний $X - Y$ (см. рисунок 1, а):

$$S = \frac{\varphi}{2\pi}(X - Y), \quad (1)$$

где S – перемещение ползуна, φ – угол заворачивания винта, X и Y – шаги резьб соответственно. В этом случае ползун перемещается в том же направлении, что и винт.

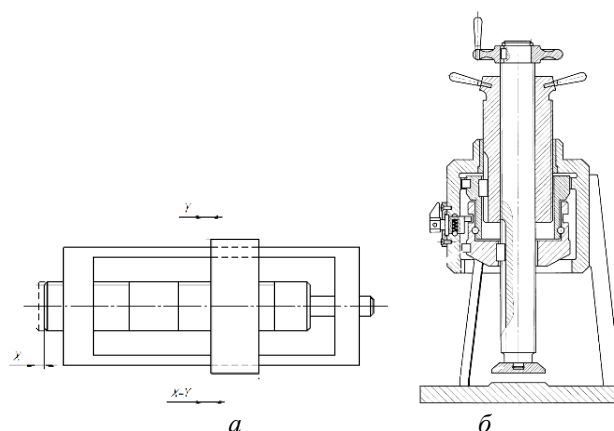


Рис. 1. Схема работы дифференциального винта (а); дифференциальный винтовой пресс (б)

В случае, когда $X < Y$, ползун перемещается противоположно направлению перемещения винта. В основном дифференциальные винтовые механизмы применяются в регулировочных и измерительных приборах. Однако в современных механизмах есть и более интересные варианты их использования: например, в качестве исполнительного механизма для фокусировки аэрофотоаппаратов [2] и в качестве дифференциального винтового пресса [3]. Последний имеет довольно интересный принцип работы, отличный от классического дифференциального винта: имеет не один общий привод, а два отдельных ручных для наружного и внутреннего винтов (рисунок 1, б).

Наиболее востребованными являются дифференциальные винты в прецизионных механизмах.

Литература

1. Янгулов, В. С. Волновые и винтовые механизмы и передачи: учебное пособие / В. С. Янгулов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 184 с.
2. Патент RU 2501057, МПК G03B 13/32 (2006.01). Механизм фокусировки аэрофотоаппарата: № 2012130828/28: заявл. 18.07.2012; опубл. 10.02.2014 / Данилов Н. И., Бунин А. С.; заявитель ОАО «Красногорский завод им. С. А. Зверева». – 6 с.
3. Патент RU 2664852, МПК B30B 1/20 (2006.01), F16H 25/20 (2006.01). Дифференциальный винтовой пресс: № 2017144035: заявл. 15.12.2017; опубл. 28.08.2018 / Казаков М. Е., Керничанский В. М.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет». – 9 с.

УДК 519.87:37

КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ШКАЛЕ ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ УЗБЕКИСТАНА И БЕЛАРУСИ

Студент гр. 51349024 (магистрант) Мухидинов Д. Х.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В работе представлена методика объективной оценки технического качества онлайн-платформ образовательного назначения на основе мультипликативной квалиметрической модели, построенной в шкале отношений [1–5]. Выбор мультипликативной модели агрегирования продиктован тем, что в шкале отношений допустимы операции умножения и деления, что обеспечивает инвариантность результата к выбору единиц измерения и масштаба шкалы. Объектами исследования выступают государственные платформы Республики Узбекистан (MySchool) и Республики Беларусь (Edu.by). Отобраны пять объективных показателей качества: время загрузки страницы, время отклика API, объем потребляемого трафика, частота технических ошибок

и время запуска видео – все измеримы исключительно в шкале отношений. Все показатели отобраны с учетом требования независимости: изменение одного параметра не должно систематически влиять на значения других, что обеспечивает аддитивность вкладов в логарифмическом пространстве. Для определения весовых коэффициентов применен логарифмический метод парных сравнений, для агрегирования – мультипликативная форма, корректная для данной шкалы.

Интегральная оценка технического качества рассчитывается по формуле:

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}. \quad (1)$$

Весовые коэффициенты, определенные логарифмическим методом парных сравнений, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Весовые коэффициенты технических показателей качества онлайн-платформ

Показатель	Обозначение	Вес w_i
Время загрузки страницы	K_1	0,225
Время отклика API	K_2	0,191
Объем потребляемого трафика	K_3	0,153
Частота технических ошибок	K_4	0,263
Время запуска видео	K_5	0,168

Экспериментальные измерения проведены в стандартизированных условиях (одинаковое оборудование, скорость интернета 50 Мбит/с, 10 повторов на каждый показатель) с использованием инструментов Chrome DevTools, Postman и Python. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных измерений технических показателей онлайн-платформ

Показатель	MySchool	Edu.by
Время загрузки страницы	1850	1240
Время отклика API	620	1450
Объем трафика, МБ	68	52
Частота ошибок, на 1000 операций	7,2	3,5
Время запуска видео, мс	2100	1450

Таким образом, на основе разработанной квалиметрической модели установлено, что платформа Edu.by превосходит MySchool по интегральному показателю технического качества в 1,6 раза. Все различия статистически значимы ($p < 0,001$). Полученное соотношение имеет прямой метрологический смысл и может быть использовано для научно обоснованного сравнения цифровых образовательных экосистем.

Литература

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2017. Системная и программная инженерия. Системы и программное обеспечение. Модель качества. – М.: Стандартинформ, 2017. – 34 с.
- Орлов, А. И. Теория принятия решений: учебник / А. И. Орлов. – М.: Экзамен, 2006. – 573 с.
- Core Web Vitals // Google for Developers. – 2023. – URL: <https://developers.google.com/web/fundamentals/performance/web-vitals> (дата обращения: 15.03.2024).
- Государственная программа «Информационное общество на 2021–2025 годы»: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь, 17.03.2021, № 138 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100138> (дата обращения: 15.03.2026).
- Мухи́динов, Д. Х. Оценка параметров квалиметрической модели в шкале равных отношений / Д. Х. Мухи́динов // Республиканская научная конференция, г. Фергана, 2025 г.: материалы конф. – Фергана, 2025. – С. 217–219.

УДК 531

ВЫВОД АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРОПОСФЕРЫ ОТ ВЫСОТЫ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И КОНВЕКЦИИ

Студент гр. 10301325 Пашко Д. Ю.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Исследование вертикального распределения температуры в атмосфере является фундаментальной задачей. Понимание того, как формируется температурный профиль, критически важно не только для метеорологии и климатологии, но и для авиации, теории тепломассообмена и экологии. Несмотря на то, что современная метеорология оперирует сложными численными моделями, поиск точного аналитического решения, связывающего микроскопические параметры газа с макроскопическими движениями воздушных масс, остается важной теоретической задачей. Известно, что воздух обладает малой теплопроводностью ($0,025 \text{ Вт/(м·К)}$), и если рассматривать атмосферу как неподвижную среду, в которой тепло переносится только за счет соударений молекул, то при реальных значениях солнечного нагрева температурный градиент был бы настолько велик, что жизнь была бы возможна лишь в тонком слое толщиной в несколько десятков сантиметров. Тот факт, что тропосфера простирается на 10–12 км, указывает на доминирующую роль другого механизма – макроскопической конвекции. Одномерное (рассматриваем только вертикальную ось z), стационарное уравнение теплопроводности с учетом конвекции имеет вид [1]:

$$\frac{d}{dz} \left(\lambda \frac{dT}{dz} \right) - \rho c_p v_z \frac{dT}{dz} = 0,$$

где первое слагаемое описывает молекулярную теплопроводность, второе – перенос тепла потоком воздуха, T – температура, λ , ρ , c_p – коэффициент теплопроводности, плотность, удельная теплоемкость при постоянном давлении соответственно. Проинтегрировав уравнение по высоте z , мы получим выражение для полного вертикального теплового потока q , который остается постоянным на всех высотах:

$$\lambda(T) \frac{dT}{dz} - c_p \rho T = -q,$$

где $\beta = \rho v_z = \text{const}$ – массовая скорость, т. к. из условия сохранения массы для стационарного случая (уравнения неразрывности): $\frac{d}{dz} (\rho v_z) = 0$. Известно, из МКТ: $\lambda(T) = A\sqrt{T}$, и разделив переменные получили:

$$dz = \frac{A\sqrt{T}}{\beta c_p T - q} dT.$$

Введем замену: $u = \sqrt{T}$, тогда $T = u^2$, $dT = 2u du$. Преобразовав подынтегральное выражение:

$$\frac{u^2}{\beta c_p u^2 - q} = \frac{1}{\beta c_p} \left(\frac{\beta c_p u^2 - q + q}{\beta c_p u^2 - q} \right) = \frac{1}{\beta c_p} \left(1 + \frac{q}{\beta c_p u^2 - q} \right).$$

Интегрируя исходное уравнение получаем:

$$z = \int \frac{Au 2u du}{\beta c_p u^2 - q} = 2A \int \frac{u^2 du}{\beta c_p u^2 - q} = \frac{2A}{\beta c_p} \left[\int du + q \int \frac{du}{\beta c_p u^2 - q} \right].$$

Если $a^2 = \frac{q}{\beta c_p}$, то

$$z = \frac{2A}{\beta c_p} \left[u + \frac{q}{\beta c_p} \frac{1}{\beta c_p} \int \frac{du}{u^2 - a^2} \right].$$

Используя табличный интеграл $\int \frac{dx}{x^2 - a^2} = \frac{1}{2a} \ln \left| \frac{x-a}{x+a} \right|$ получили неявную формулу зависимости температуры тропосферы от высоты:

$$z(T) = \frac{2A}{\beta c_p} \left(\sqrt{T} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{q}{\beta c_p}} \ln \left| \frac{\sqrt{T} - \sqrt{\frac{q}{\beta c_p}}}{\sqrt{T} + \sqrt{\frac{q}{\beta c_p}}} \right| \right) + C.$$

Постоянная интегрирования определяется из условия: $T(z = 0) = T_0$. Поток тепла q от Земли, определенный на основе глобального теплового баланса составляет $q = 20 \div 50 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ (в расчетах 25). Используя значения температур из Стандартной атмосферы [2], и плотность у поверхности $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $A = 4,8 \cdot 10^{-5}$, $T_0 = 288 \text{ К}$, $c_p = 1005 \text{ Дж/(кг К)}$ получили, что для хорошего совпадения необходимо использовать массовую скорость $\beta \approx 1 \cdot 10^{-6} \text{ кг/(м}^2 \text{ с)}$ ($v_z \approx 8 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}$) и эффективный коэффициент теплопроводности для «турбулентной» атмосферы $\lambda(250 \text{ К}) = 3846 \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$.

Литература

1. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Изд-во Высшая школа, 1967. – 600 с.
2. Атмосфера стандартная. Параметры: ГОСТ 4401–81. – Взамен ГОСТ 4401–73; введ. 01.07.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 179 с.

УДК 51.091

ВЕРОЯТНОСТЬ ТОГО, ЧТО ДВА СЛУЧАЙНЫХ ЦЕЛЫХ ЧИСЛА ВЗАИМНО ПРОСТЫ

Студент гр. 11311125 Подобед Г. В.

Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В теории чисел существует ряд утверждений, которые на первый взгляд кажутся парадоксальными [1]. Одной из таких задач является определение вероятности того, что два наугад выбранных целых числа окажутся взаимно простыми. Данная вероятность выражается через фундаментальную математическую константу – число π . В работе приводится доказательство того, что предел доли взаимно простых пар среди всех пар натуральных чисел, при стремлении N к бесконечности существует и равен $\frac{6}{\pi^2}$. Для этого используются методы аналитической теории чисел [2], свойства дзета-функции Римана и основная теорема арифметики.

В силу независимости делимости на различные простые числа (что следует из основной теоремы арифметики), вероятность того, что два числа не имеют ни одного общего простого делителя, представляется в виде бесконечного произведения по всем простым числам p :

$$P = \prod_p \left(1 - \frac{1}{p^2} \right).$$

Одним из фундаментальных тождеств, установленных Эйлером, является представление дзета-функции в виде бесконечного произведения по всем простым числам. В частности, для $s = 2$:

$$\zeta(2) = \prod_p \left(1 - \frac{1}{p^2} \right)^{-1}.$$

Сравнивая это выражение с полученной ранее вероятностью P , мы видим, что:

$$P = \prod_p \left(1 - \frac{1}{p^2} \right) = \left(\prod_p \left(1 - p^{-s} \right)^{-1} \right)^{-1} = \frac{1}{\zeta(2)}.$$

Таким образом, искомая вероятность равна обратной величине от значения дзета-функции в точке 2.

Значение $\zeta(2)$ было впервые найдено Эйлером в 1735 году и является одним из классических результатов математического анализа. Эйлер доказал, что сумма обратных квадратов натуральных чисел равна:

$$\zeta(2) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}.$$

Подставляя это значение в выражение для вероятности, получаем окончательный результат:

$$\zeta(2) = \frac{1}{\frac{\pi^2}{6}} = \frac{6}{\pi^2}.$$

Это означает, что если случайным образом выбрать два больших целых числа, то примерно в 60,8 % случаев они не будут иметь общих делителей, больших единицы.

Литература

1. Яглом, А. М. Неэлементарные задачи в элементарном изложении / А. М. Яглом, И. М. Яглом. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 544 с.
2. Харди, Г. Х. Введение в теорию чисел / Г. Х. Харди, Д. Е. Литлвуд. – М.: Наука, 1974. – 340 с.

УДК 681.2.084

ПОРОГ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТОЧЕЧНЫХ ДЫМОВЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Магистрант гр. 61315025 Пряжко А. В., аспирант Третьяк И. Б.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Антошин А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В последние годы, несмотря на сокращение количества пожаров в зданиях, подобные происшествия стали приводить к большему количеству травм и смертельных исходов [1].

Ключевую роль в предотвращении гибели людей играет своевременное обнаружение возгораний пожарными извещателями, в связи с чем в настоящее время ведутся исследования в области сокращения времени обнаружения пожаров точечными дымовыми оптико-электронными извещателями в следующих направлениях:

- обнаружение частиц дыма в условиях загрязнения воздушной среды с помощью двух светодиодов с разными длинами волн на основе отношений сигналов рассеянного светового излучения вперед и назад [2];
- влияние на чувствительность оптико-электронного дымового извещателя к серому и черному дыму изменения угла рассеивания извещателя [3].

Вышеупомянутые исследования уделяют внимание изучению рассеяния излучения частицами дыма, однако не рассматривают рассеяния светового потока в дымовой камере в условиях отсутствия задымления и влияние на это конструктивных элементов дымовой камеры. Указанное рассеяние приводит к необходимости повышать порог срабатывания извещателя, что снижает чувствительность устройства к концентрации дыма и может вызывать ложные срабатывания устройства. При снижении количества рассеянного излучения не дымовой природы появится возможность обнаруживать меньшие концентрации дыма и сократить время обнаружения пожара. Данное направление неосвещено в научных работах последних лет и нуждается в дальнейшем исследовании.

Цель исследования: изучить возможность снижения порога срабатывания точечного дымового оптико-электронного пожарного извещателя за счет сокращения рассеянного излучения, попадающего на фотоприемник в условиях отсутствия дыма, с помощью изменения конструкции выходной диафрагмы и взаимного расположения источника и приемника излучения в дымовой камере пожарного извещателя.

Для достижения цели исследования разработана теоретическая трехмерная модель распределения излучения в дымовой камере извещателя и проводятся работы по созданию экспериментальной установки.

Экспериментальная установка разработана в соответствии со следующими требованиями:

- воспроизводит распространение оптического излучения в дымовой камере, характерное существующим оптико-электронным точечным пожарным извещателям;
- имеет возможность изменения расположения источника светового излучения, выходных диафрагм и фотоприемника на фиксированные расстояния;
- проводит измерения электрических характеристик (силы тока и напряжения) источника света и фотоприемника.

В качестве фотоприемника используются фотодиоды VEMD5510CF 540 нм, 440–620 нм, 65 ° и PD333-3C/H0/L2 940 нм, 400–1100 нм, 80 °, в качестве фотоизлучателя – светодиоды зеленого свечения AL307ГМ 50 ° $d = 5$ мм 1,5 мКд 567 нм и синего свечения 20 ° $d = 5$ мм 1500 мКд 470 нм.

Данное исследование позволит установить возможность уменьшения порога срабатывания точечных дымовых оптико-электронных пожарных извещателей и времени обнаружения пожара за счет изменение распределения оптического излучения в дымовой камере с помощью выходных диафрагм.

Литература

1. Badger, St. G. Catastrophic multiple death fires / St. G. Badger // NFPA Research. – URL: <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/catastrophic-multiple-death-fires> (date of access: 14.12.2025).
2. Discrimination between fire smokes and nuisance aerosols using asymmetry ratio and two wavelengths / Rong Zheng, Dan Zhang, Song Lu // Fire Technology. – 2019. – Vol. 55, № 5. – P. 1753–1770.
3. Optimization of sensitivity characteristics of photoelectric smoke detector to various smokes / Won Yeong Hwang, Hyung Ju Lee, Jinghao Jin [et al.] // Case Studies in Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 53, № 61. – P. 103896.

УДК 004.451

ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА LINUX

Студент гр. 11305125 Рижий А. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гацкевич Е. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Linux – результат синтеза Unix, философии GNU и практического подхода Линуса Торвальдса. Сегодня он – основа цифрового мира. Знание Linux дает реальное преимущество в IT и помогает понять, как устроены технологии. В настоящей работе рассмотрены история создания Linux, его архитектурные особенности и значение в современной IT-инфраструктуре.

В 1991 году финский студент Линус Торвальдс в возрасте 21 года начал писать свое ядро операционной системы как учебный проект. Он опубликовал код в интернете и предложил другим разработчикам участвовать в его улучшении. Вскоре его ядро объединили с инструментами проекта GNU – так получилась полноценная операционная система. Линус Торвальдс до сих пор руководит разработкой ядра, но не как «босс», а как координатор сообщества [1]. Его главный принцип: «Talk is cheap. Show me the code» – стал девизом всего движения open source. За вклад в IT он получил множество наград.

Важно понимать, что Linux – это не операционная система целиком, а только ее ядро [2]. Ядро управляет ресурсами компьютера: процессами, памятью, драйверами устройств и сетью. Оно является монолитным, что обеспечивает высокую производительность. Готовые к использованию сборки, которые включают ядро Linux, программы GNU, графический интерфейс и приложения, называются дистрибутивами. Примерами популярных дистрибутивов являются Ubuntu, Fedora, Debian и другие. Каждый дистрибутив решает свои задачи, но все они построены на одном ядре.

Linux приобрел огромную популярность благодаря ряду преимуществ. Он полностью бесплатен, стабилен и безопасен. В отличие от многих коммерческих систем, Linux не следит за пользователем. Систему можно гибко настроить под любую задачу, а низкие требования позволяют запускать ее даже на старом «железе». Эти качества сделали Linux стандартом для серверов и облачных платформ.

Сегодня Linux присутствует повсюду. На нем работают Android, веб-серверы, суперкомпьютеры, роутеры, автомобили и даже системы управления Большого адронного коллайдера [3]. Многие люди используют Linux каждый день, даже не устанавливая его на свой ПК.

Современный Linux имеет удобный графический интерфейс, однако терминал (Bash) остается важным инструментом для автоматизации. Базовые команды вроде ls, cd или nano легко освоить, и они очень полезны в IT.

Развитие Linux невозможно без сообщества. Тысячи программистов по всему миру вносят вклад в ядро и приложения. Каждый может предложить улучшение или создать свой дистрибутив. Эта модель стала основой open source, изменившего IT-индустрию.

Знание Linux – важный навык для программистов, системных администраторов, DevOps-инженеров и специалистов по кибербезопасности. Многие курсы и стажировки требуют понимания Linux. Попробовать систему можно без риска: запустить с флешки (Live USB) или в виртуальной машине. Это безопасно, бесплатно и займет около 10 минут.

Таким образом, Linux широко используется в современном мире, однако его использование и настройка дистрибутивов требуют довольно высокой квалификации пользователей.

Литература

1. Bahrami, M. Code is Cheap, Describe It to Me: A New Paradigm in Software Development / M. Bahrami // Medium. – URL: <https://masoudbahrami.medium.com/code-is-cheap-describe-it-to-me-a-new-paradigm-in-software-development-c08172d2a433> (date of access: 22.02.2026).
2. Ядро Linux // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядро_Linux (date of access: 19.02.2026).
3. Большой адронный коллайдер // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Большой_адронный_коллайдер (date of access: 22.02.2026).
4. Bash // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bash> (date of access: 22.02.2026).

УДК 519.2

ЗАДАЧИ НА СЛОЖЕНИЕ И УМНОЖЕНИЕ СОБЫТИЙ В ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Студент гр. 10401225 Самохвалов Е. А.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Прусова И. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Теория вероятностей зародилась в XVII веке из попыток математически обосновать выигрыши в азартных играх. Первыми эту задачу решили Паскаль и Ферма, заложив основы комбинаторики и понятие вероятности. Позже Бернулли вывел закон больших чисел, показав, что частота события стремится к его вероятности при большом количестве испытаний. Лаплас систематизировал знания и применил теорию к анализу данных. В XIX веке русская математическая школа в лице Чебышева, Маркова и Ляпунова развила теорию предельных теорем. Кульминацией стали работы Колмогорова, который в XX веке построил теорию вероятностей на строгой аксиоматической базе теории множеств, превратив ее в полноценный раздел математики.

Понятие теории вероятности. Теория вероятностей изучает, как даже в самых непредсказуемых ситуациях (вроде броска монеты или изменения погоды) можно обнаружить скрытые математические закономерности. Она позволяет нам понять, описать и даже предсказать, как часто будут происходить те или иные события. Основное и наиболее доступное правило. Оно применимо в ситуациях, где каждый возможный результат эксперимента имеет равную вероятность наступления.

$$P(A) = \frac{m}{n}. \quad (1)$$

Для несовместных событий:

$$P(A + B) = P(A) + P(B). \quad (2)$$

Для совместных событий:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) - P(A * B). \quad (3)$$

Так же существует правило для нескольких условий. Метод предоставляет возможность вычисления вероятности события, когда его возникновение зависит от ряда альтернативных сценариев или предположений.

$$P(A) = P(H1) \cdot P_{H1}(A) + P(H2) \cdot P_{H2}(A) + \dots + P(Hn) \cdot P_{Hn}(A). \quad (4)$$

Пример: В магазине стоят три одинаковых автомата с кофе. Первый автомат обслуживает 50 % всех покупателей, второй – 30 %, а третий – 20 %. Вероятность того, что автомат сломается в течение дня, для первого автомата равна 0,1, для второго – 0,2, для третьего – 0,3. Какова вероятность того, что покупатель столкнется со сломанным автоматом.

$$P(A) = 0,5 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,3 \quad (5)$$

$$P(A) = 0,05 + 0,06 + 0,06 = 0,17. \quad (6)$$

Ответ: Вероятность того, что случайный покупатель попадет на сломанный автомат, равна 0,17 (или 17 %).

Литература

1. Кочетков, Е. С. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник / Е. С. Кочетков, С. О. Смерчинская, В. В. Соколов. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2018. – 416 с.
2. Буре, В. М. Теория вероятностей и вероятностные модели: учебник / В. М. Буре, Е. М. Парилина, А. А. Седаков. – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2020. – 164 с.

УДК 616.7-073.97:615.471

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫХ МЫШЦ

Солдатов В. И., Вятчина Т. Г., Коровина С. А., Михайлова А. С.,
Труфанов А. М., Пушкарев М. С.

Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

По данным отечественной литературы, нарушения осанки различной степени выраженности регистрируются у 15–30 % детей школьного возраста и являются одной из причин формирования висцеральной патологии – вследствие деформации грудной клетки и изменения топографии внутренних органов [1]. С медицинской точки зрения принципиально важно, что коррекционный эффект физических упражнений существенно возрастает при раннем выявлении функциональных отклонений, до стадии структурной деформации позвоночника [1]. Традиционные методы скрининга – редкие профилактические осмотры и визуальная оценка осанки – не обеспечивают непрерывного объективного мониторинга и позволяют фиксировать лишь уже сформировавшиеся нарушения. Существующие зарубежные корректоры осанки (Intelligent Smart Coach, Xiaomi Youpin Нирее Р1) регистрируют угол наклона туловища, однако не обеспечивают дифференциации направления отклонения и не используют прямой оценки мышечного тонуса. Поверхностная электромиография (ЭМГ) позволяет объективно количественно оценить биоэлектрическую активность паравертебральных мышц, которая изменяется до появления клинически видимых деформаций позвоночника [2]. Асимметрия ЭМГ-активности симметричных паравертебральных мышц служит ранним маркером дисбаланса мышечного тонуса и создает доказательную основу для назначения персонализированной лечебной физкультуры [1, 2]. В условиях курса на технологический суверенитет и импортозамещение в медицинском приборостроении разработка отечественных диагностических систем на открытой программно-аппаратной базе обеспечивает независимость от зарубежных поставщиков и возможность адаптации к стандартам российского здравоохранения.

Цель работы – разработать программно-аппаратный комплекс (ПАК) на базе отечественного микроконтроллерного модуля Iskra Neo для непрерывного многоканального мониторинга биоэлектрической активности паравертебральных мышц с целью ранней объективной диагностики нарушений осанки.

Аппаратная часть ПАК реализована на базе российского микроконтроллерного модуля Iskra Neo (компания «Амперка», Россия) – отечественного аналога Arduino Leonardo на микроконтроллере ATmega32U4 (тактовая частота 16 МГц, 32 КБ флеш-памяти, 12 аналоговых входов, 10-битный АЦП). Поверхностные накожные электроды – проводники специальной формы, обеспечивающие съем биопотенциалов с поверхности кожи без инвазивного вмешательства [3] – подключены к аналоговым входам А0, А1, А2, А4 и расположены симметрично на паравертебральных мышцах в грудном и поясничном отделах позвоночника. Перед наложением кожа обрабатывалась спиртом, на электроды наносился токопроводящий гель для снижения переходного сопротивления. Частота дискретизации составляла 100 Гц – достаточная для оценки постурального мышечного тонуса, информативный спектр которого сосредоточен в диапазоне 20–60 Гц. Для подавления высокочастотных помех применялось экспоненциальное скользящее среднее (коэффициент сглаживания 10). Результаты регистрации сохранялись на SD-карту в формате CSV с временными метками, сырыми и сглаженными значениями и событиями калибровки, что обеспечивает возможность последующего ретроспективного анализа.

Программная часть реализована в среде Arduino IDE (язык C++) и Processing (язык Java). Графический интерфейс отображает состояние каждого канала в реальном времени: «мышца активна» – зеленый индикатор, «мышца в покое» – серый; порог активации – 50 единиц АЦП (диапазон 0–1023) по размаху амплитуды за 1 с. Перед мониторингом проводилась индивидуальная программная калибровка: испытуемый в течение 10 с поддерживал ортостатическое положение с выпрямленной спиной, после чего зарегистрированный базовый уровень тонуса вычитался из текущих значений. Пилотная апробация выполнена на одном добровольце 20–23 лет без патологии опорно-двигательного аппарата (ОДА); ввиду направленности работы на функциональную отладку комплекса статистическая обработка данных не проводилась.

Таблица 1 – Сравнение разработанного ПАК с коммерческими аналогами

Аналог	Достоинства	Недостатки
Intelligent Smart Coach / Smart Sensor Corrector	Компактность, малая масса, доступная цена	Оценка только угла наклона; нет дифференциации направления отклонения; ЭМГ-контроль отсутствует
Xiaomi Youpin Hipee P1 Smart	Суточная статистика положения тела	Контролирует только верхний грудной отдел; нет прямой оценки мышечного тонуса; зарубежный производитель
Разработанный ПАК (Iskra Neo, Россия)	4-канальная ЭМГ паравертебральных мышц, индивидуальная калибровка, визуализация в реальном времени, отечественная открытая платформа	Опытный образец; требует миниатюризации

В ходе пилотной апробации успешно реализована синхронная четырехканальная регистрация ЭМГ-сигнала с паравертебральных мышц; данные визуализировались в реальном времени и записывались в CSV-файл. Корректность работы графического интерфейса подтверждена визуально. Сформирован первичный набор данных для последующего корреляционного анализа взаимосвязи поструральных изменений и асимметрии ЭМГ-активности. Согласно литературным данным, асимметрия биопотенциалов паравертебральных мышц до 150 мкВ расценивается как функциональная норма; превышение порога 225–300 мкВ коррелирует с формированием сколиотической деформации [2]. Наличие численных критериев нормы и патологии делает разработанный ПАК инструментом не только инженерного, но и клинически значимого скрининга: полученные данные могут быть непосредственно использованы врачом ЛФК или педиатром для обоснования и мониторинга эффективности коррекционных мероприятий (табл. 1).

Разработан и апробирован отечественный ПАК для непрерывного многоканального мониторинга биоэлектрической активности паравертебральных мышц на базе российского модуля Iskra Neo. В отличие от зарубежных коммерческих корректоров осанки, комплекс обеспечивает прямую количественную ЭМГ-оценку мышечного тонуса в четырех точках одновременно, что имеет самостоятельную диагностическую ценность для раннего выявления дисбаланса паравертебральной мускулатуры как предиктора прогрессирования сколиоза. Применение отечественной открытой платформы соответствует задачам импортозамещения в медицинском приборостроении и создает основу для тиражирования системы в учреждениях здравоохранения и общеобразовательных школах. Перспективами развития являются миниатюризация аппаратной части, совершенствование алгоритмов цифровой фильтрации, разработка носимого корпуса и расширение клинической выборки для валидации диагностических пороговых значений.

Литература

1. Спирин, В. К. Диагностика функциональных нарушений осанки на основе показателей силовой выносливости мышц по обе стороны позвоночного столба / В. К. Спирин, Д. Н. Болдышев // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2012. – № 4 (86). – С. 149–153.
2. Яблонских, М. А. Некоторые электромиографические показатели у детей дошкольного возраста / М. А. Яблонских. – Казань: Каб. ЛФК Казанского ГИДУВа им. В. И. Ленина. – С. 53–54.
3. Смирнов, В. А. Биофизические основы электромиографии. Регистрация и анализ электромиограммы: методические указания для самоподготовки студентов / В. А. Смирнов; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации. – Благовещенск: АГМА, 2020. – 26 с. – URL: https://amurgma.ru/upload/iblock/211/dc6ysjkafw0es1n0rs1ghwxolfd1ypux/Biofizicheskie_osnovy_elektromiografii.pdf (дата обращения: 15.03.2026).

УДК 537.3; 539.2

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ КАК ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Студенты гр. 11312125 гр. Титова В. О., Пашкевич Я. С.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Черный В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Температура не является непосредственно измеряемой величиной. Между тем знание ее величины требуется во многих случаях. Поэтому измерение температуры является широко распространенной во многих случаях задачей.

Для решения задачи широко используются датчики различного типа. С их помощью определяют температуру по изменению определенного параметра. Данный параметр должен заметно и непрерывно изменяться при изменении температуры и не вносить заметных изменений в температурный режим измеряемой среды. Недорогими датчиками температуры являются полупроводниковые диоды [1]. Важным их преимуществом является довольно высокое быстродействие (порядка 30 секунд).

Работа подобных датчиков основана на том, что прямая ветвь вольтамперной характеристики диодов описывается следующей зависимостью:

$$I = I_0 \{ \exp[eU / (kT) - 1] \}, \quad (1)$$

где I – ток через диод, I_0 – так называемый тепловой ток или ток насыщения, e – модуль заряда электрона, U – прямое напряжение, k – постоянная Больцмана, T – температура по шкале Кельвина [2].

В случае $eU \gg kT$ единицей в (1) можно пренебречь, и указанная зависимость преобразуется к виду:

$$U = AT + B, \quad (2)$$

где A и B – постоянные коэффициенты, не зависящие от температуры [3]. Коэффициент A имеет отрицательный знак, и при постоянном токе через диод падение напряжения на диоде уменьшается при росте температуры.

В данной работе исследовались свойства полупроводниковых диодов для применения их в качестве датчиков температуры.

Для исследований были выбраны диоды типа КС133, Д226. Выбор данных типов диодов связан с тем, что они относятся к группе диодов, изготавливаемых в металлических корпусах, что удобно при измерениях в жидких средах.

Измерения напряжения на диодах проводилось при значениях прямого тока 100 микроампер в интервале температур от 20 °С до 100 °С. Для контроля температуры использовались ртутный термометр и электронный термометр, входящий в комплект цифрового вольтметра.

Результаты измерений показали, что зависимость вида (2) выполняется с хорошей степенью точности для всех исследованных диодов. Значение коэффициента A , определяющего чувствительность к изменению температуры, находилось в интервале от –2,25 до –2,62 милливольт на градус Цельсия. Среднеквадратичное отклонение напряжения от линейной зависимости (2) составляло не более 2 % от наименьшего напряжения, определенного при 100 °С. У некоторых из диодов данная величина составляла 0,5 %.

Для непосредственного определения температуры измеренное напряжение подавалось на инвертирующий вход дифференциального усилителя, а напряжение на не инвертирующем входе подбиралось таким образом, что напряжение на выходе, выраженное в милливольт, численно совпадало с температурой по шкале Цельсия. В таком случае отличие от показаний эталонного термометра не превышало 0,5 °С, а для некоторых диодов не превышало 0,2 %.

Литература

1. Термометрические характеристики кремниевых полупроводниковых диодов / Н. С. Безверхняя, Л. М. Васильев, Ю. П. Дмитриевский, Ю. М. Мельник // Приборы и техника эксперимента. – 1976. – № 5. – С. 278.
2. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники / И. П. Степаненко. – М.: Советское радио, 1980. – 424 с.
3. Измерение температуры полупроводниковыми термометрами: учебное пособие / П. С. Булкин, О. Н. Васильева, С. А. Киров, Т. И. Малова. – М.: ООП Физического факультета МГУ, 2012. – 17 с.

ТОПОЛОГИЧЕСКИ НЕТРИВИАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОН

Магистрант Тошпулотов Шохрух Ботир угли^{1,2}

Д-р физ.-мат. наук, профессор Князев М. А.¹

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

²Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан

Уравнение синус-Гордона и его многочисленные модификации занимают ведущую роль в современной теоретической и математической физике. Они позволяют описывать широкий спектр нелинейных явлений в теории поля и физике конденсированного состояния, динамике джозефсоновских переходов, дислокаций в кристаллах, различные модели ДНК [1]. Поскольку уравнение является существенно нелинейным, то особый интерес представляют его топологически нетривиальные решения (солитоны, кинки, бризеры и т. п.) которые нельзя деформировать непрерывным образом в тривиальное решение. Особенностью таких решений является их устойчивость, обусловленная топологическим зарядом [2]. Модифицированные версии уравнения синус-Гордона (с учетом диссипации, внешних потенциальных или дифракционных членов) позволяют моделировать реальные физические системы. В силу вышеотмеченного они требуют глубокого анализа существования, устойчивости и динамики топологических решений. Актуальность темы обусловлена как фундаментальным интересом к нелинейным уравнениям в частных производных с топологическими свойствами, так и прикладными аспектами в конденсированной материи, оптике и квантовой теории поля.

В настоящей работе рассмотрены следующие задачи: 1) анализ классического уравнения синус-Гордона и его топологических решений; 2) различные формы модификаций уравнения (с добавлением членов, описывающих затухание, внешней потенциал, членов с высшими производными или возмущений); 3) определение условия, при котором возможно существование топологически нетривиальных решений; 4) исследование линейной устойчивости полученных решений; 5) определение топологических зарядов.

Научная новизна полученных результатов заключается в установлении новых классов топологических решений для конкретных модификаций уравнения синус-Гордона; обобщении понятия топологического заряда для модифицированной модели; доказательстве устойчивости (или отсутствии устойчивости) найденных решений в зависимости от параметров модели.

Для решения указанных задач использовались методы теории нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных и топологические методы: вычисление топологического заряда, анализ гомотопических классов.

Одним из наиболее эффективных методов решения существенно нелинейных уравнений в частных производных является прямой метод Хироты [3, 4]. Для решения рассмотренных в настоящей работе уравнений был использован модифицированный прямой метод Хироты, при помощи которого можно построить решение существенно нелинейного уравнения в частных производных как в случае вырождения параметров решения, так и в случае линеаризованных уравнений высоких порядков [5].

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что они могут быть использованы в теории солитонов и нелинейной динамике; моделировании джозефсоновских переходов в сверхпроводниках; описании динамики доменных стен в ферромагнетиках и антиферромагнетиках; разработке математических моделей в биофизике (например, при описании передачи энергии в биополимерах); а также в образовательном процессе при изучении нелинейной математической физики.

Литература

1. Додд, Р. Солитоны и нелинейные волновые уравнения / Р. Додд, Дж. Эйлбек, Дж. Гиббон, Х. Моррис. – М.: Мир, 1988. – 694 с.
2. Раджараман, Р. Солитоны и инстантоны в квантовой теории поля / Р. Раджараман. – М.: Мир, 1985. – 336 с.
3. Абловиц, М. Солитоны и метод обратной задачи / М. Абловиц, Х. Сигур. – М.: Мир, 1980. – 479 с.
4. Hientarinta, J. Hirota's bilinear method and its generalization / J. Hientarinta // International Journal of Modern Physics A. – 1997. – Vol. 12, № 1. – P. 43–51.
5. Князев, М. А. Кинки в скалярной теории с затуханием / М.А. Князев. – Мн.: Тэхналогія, 2003. – 116 с.

УДК 685.557.6

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УМНОЙ ТРОСТИ

Студент гр. 11310125 Трава М. В.

Ст. преподаватель Кондратьева Н. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Пожилые люди и люди с нарушениями зрения или каких-либо других ориентационных чувств часто сталкиваются с проблемами в передвижении, а также с большой вероятностью падения.

Возникла необходимость в разработке трости для помощи таким людям и упрощения их передвижения [1].

Конструктивные особенности умной трости включают следующие требования:

1. Базовая функциональность: GPS-трекинг и кнопка SOS (обязательные функции для обеспечения безопасности).

2. Дополнительные функции: определение падения (акселерометр), фонарик, светоотражающие элементы.

3. Конструктивные требования: эргономичная ручка, регулировка высоты, противоскользящая насадка.

Основными компонентами для умной трости являются:

1. Микроконтроллер Arduino Nano – это плата, используемая для создания устройств, способных взаимодействовать с окружающей средой и воспринимать данные из нее при помощи различных датчиков и управляющих устройств. Это платформа с открытым исходным кодом, основанная на микроконтроллерах. Все ресурсы платы находятся в свободном доступе для пользователей.

2. GPS-модуль NEO-6M. Модуль состоит из платы с чипом и активной антенны. Плата оснащена батареей для быстрого старта, микросхемой памяти EEPROM, которые необходимы для стабилизации питания радиодеталей и контактов для связи с внешним миром. Передача данных на контроллер или другое устройство происходит по UART, а потому подключение схематически предельно простое и надежное. Модуль работает автономно, не требуя никаких входящих команд и запросов, просто выдавая раз в секунду в порт имеющиеся данные по протоколу NMEA 0183.

3. GSM-модуль SIM800L. Миниатюрные GSM-модемы на базе чипа SIM800L имеют широкую область применения: охрана дачи или дома, сигнализация в машине, устройства для людей с ограниченными возможностями и многое другое, где требуется удаленная связь, а возможности подключиться к Wi-Fi нет. С их помощью можно не только отправлять сообщения или управлять телефонными звонками, но и подключаться к Интернету.

4. Акселерометр ADXL345.

5. Аккумулятор 18650 2600mAh.

6. Контроллер заряда TP4056.

7. Преобразователь MT3608.

8. Кнопка тактовая 12 мм.

9. Светодиоды 5 мм.

10. Резисторы 220 Ом.

11. Зуммер активный.

12. Фонарик LED 1 Вт [2].

В схему подключения вошли:

– Блок питания: Li-ion аккумулятор 3,7 В (18650), повышающий преобразователь до 5 В.

– Микроконтроллер: Arduino Nano / ESP8266 NodeMCU (обработка данных).

– Модуль GPS: NEO-6M / NEO-7M (определение координат).

– Интерфейсный модуль: OLED-дисплей, buzzer, LED.

– GSM-модуль: SIM800L (отправка SMS / SOS-сигнала).

– Акселерометр: ADXL345 / MPU6050 (определение падения).

– Кнопка SOS (тактовая) [3].

Литература

1. Студенты НГТУ НЭТИ создают GPS-трость для помощи пожилым людям в экстренных ситуациях // НГТУ: официальный сайт Новосибирского государственного технического университета. – URL: https://www.nstu.ru/news/news_more?idnews=173941 (дата обращения: 20.02.2026).

2. В России разработали доступную GPS-трость для помощи пожилым людям // Кубанские новости. – URL: <https://kubnews.ru/obshchestvo/2026/02/05/v-rossii-razrabotali-dostupnuyu-gps-trost-dlya-pomoshchi-rozhilym-lyudyam/> (дата обращения: 24.02.2026).

3. Ardui№ Полный учебный курс. От игры к инженерному проекту: практическое пособие / А. А. Салахова, О. А. Феоктистова, Н. А. Александрова, М. В. Храмова. – М.: Лаборатория знаний, 2024. – 178 с.

УДК 681.2+004

ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ ВДОЛЬ ЛИНИИ

Студент Хакназаров Б.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Гундина М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

При статистическом подходе обнаружения аномалий чаще всего отталкиваются от того, что есть построенная закономерность ожидаемых значений сигнала, что позволяет сопоставить новое значение с теми, которые вычисляются по исходной построенной модели. Достаточная близость значений будет соответствовать случаю отсутствия аномалии [1, 2].

Наборы данных, содержащих аномальные значения, часто не содержат достаточного количества обучающих выборок, чтобы можно было использовать автоматические методы повышения или понижения дискретизации, способствующие контролируемому обучению.

Отдельной группой выявления аномальных значений являются статистические методы. К ним относятся, например, параметрические методы. Они позволяют оценивать параметры модели в режиме реального времени, что устраняет необходимость в длительной фазе обучения или ручной настройке параметров.

Язык Wolfram Language имеет широкую поддержку иерархических и неиерархических методов кластерного анализа. Под кластеризацией будем понимать методику группировки подобных точек данных в группы, которые называются кластерами. Те значения, которые не входят в кластер, будем считать аномальными.

Построение профиля интенсивности – это ключевой метод количественного анализа изображений, который позволяет перейти от субъективного визуального восприятия к объективным измеримым данным. В своей основе профиль интенсивности представляет собой график распределения яркости пикселей вдоль выбранной линии или области изображения. Этот инструмент незаменим в научных исследованиях, технической диагностике и промышленном контроле, поскольку дает возможность выявлять закономерности, которые неразличимы при обычном визуальном рассмотрении.

На рис. 1. представлено исходное изображение перелом плечевой кости.

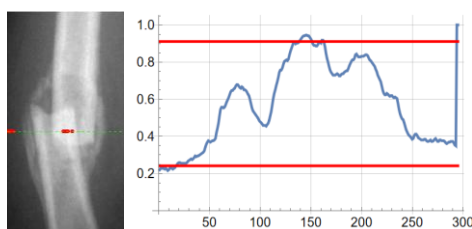


Рис. 1. Исходное изображение. Профиль интенсивности (на оси Ox представлена позиция пикселя, на оси Oy – интенсивность, жирными линиями выделены пороговые значения)

На рис. 1 слева представлен исходный снимок, а справа – профиль интенсивности с выделенными аномальными значениями.

Одной из главных практических задач, решаемых с помощью профилей интенсивности, является выявление и анализ границ объектов. Резкий скачок интенсивности на графике соответствует переходу от одного материала, поверхности или объекта к другому.

Литература

1. Статистический подход к обнаружению и удалению шумовых выбросов в визуализированных данных зондовой электрометрии / О. В. Юхновская, М. А. Гундина, Е. Д. Ромашко, К. В. Пантелеев // Приборы и методы измерений. – 2025. – Т. 16, № 4. – С. 406–416.

2. Богдан, П. С. Определение аномальных значений выборки, полученной термопарой / П. С. Богдан, М. А. Гундина, О. В. Юхновская // Материалы XXX Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механических конструкций и сплошных сред» им. А. Г. Горшкова, Кременки, 20–24 мая 2024 г. – Москва: ООО «ТРП», 2024. – Т. 1. – С. 50–52.

УДК 517.518.12

ПОЧЕМУ ИНТЕГРАЛЫ НЕ БЕРУТСЯ. ТЕОРЕМА ЛИУВИЛЛЯ ОБ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ФУНКЦИЯХ

Студенты гр. 11307225 Царева П. Е., Лисакович М. В.

Кандидат техн. наук, доцент Бокуть Л. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель работы: ознакомиться и раскрыть содержание теоремы Лиувилля об интегрируемости в элементарных функциях и определить, какие интегралы не берутся.

Любая непрерывная функция имеет первообразную, но не всегда эта первообразная может быть выражена через элементарные функции – многочлены, логарифмы и тригонометрические функции. Интеграл называют «неберущимся» в элементарных функциях, если его первообразная существует, но не может быть представлена в виде конечной комбинации алгебраических функций.

Ж. Лиувилль в 1831 году не только констатировал, что интегралы некоторых функций не выражаются через элементарные функции, но и создал теорию, объясняющую структуру интеграла, если он все же выражается в элементарных функциях.

Теорема Лиувилля описывает алгебраические функции, интегрируемые в обобщенно элементарных функциях. На ней основаны алгоритмы, во многих случаях позволяющие или взять интеграл, или доказать, что он «не берется в конечном виде» [1].

По теореме Лиувилля абелев интеграл представим в элементарных функциях тогда и только тогда, когда его можно представить в виде

$$G_0(x, y) + \alpha_1 \ln G_1(x, y) + \dots + \alpha_q \ln G_q(x, y), \quad (1)$$

где $G_0, \dots, G_q$, e – рациональные функции на рассматриваемой кривой, а $\alpha_1, \dots, \alpha_q$ – подходящим образом подобранные комплексные числа [2].

Теория Лиувилля изучает разрешимость линейных дифференциальных уравнений в элементарных функциях. При интегрировании нелинейных дифференциальных уравнений можно фиксировать класс, которому принадлежат интегралы, или класс групп Ли, оставляющих дифференциальное уравнение инвариантным.

Теорема 1. Линейное дифференциальное уравнение

$$y'' + py' + q = 0, \quad (2)$$

где p и q – рациональные функции от x , решается в обобщенных квадратурах, если и только если одно из его решений представимо в виде

$$y = \exp\left(\int^x A(x)dx\right), \quad (3)$$

где A – алгебраическая функция.

Теорема 1 описывает уравнение, которое имеет достаточно простые решения, или вообще не задается в обобщенных квадратурах. Лиувилль получил целый ряд результатов такого рода. Общая идеология этих результатов сводится к следующему: простые уравнения либо имеют достаточно простые решения, либо вообще не решаются в заданном классе (в квадратурах, в элементарных функциях и так далее). Стратегия доказательств в теории Лиувилля: показывается, что если простое уравнение имеет решение, записанное сложной формулой, то эту формулу можно упростить [3].

Теорема Лиувилля об интегрируемости в элементарных функциях – это фундаментальный результат в области символического интегрирования. Она не просто утверждает, что некоторые интегралы «не берутся», а задает точную структуру, которую обязан иметь элементарный интеграл, если он существует.

Литература

1. Хованский, А. Г. Об алгебраических функциях, интегрируемых в конечном виде / А. Г. Хованский // Функциональный анализ и его приложения. – 2015. – Т. 49, № 1. – С. 62–70.

2. Малых, М. Д. О символьном интегрировании алгебраических функций / М. Д. Малых, Л. А. Севастьянов, Юй Ин. – 29 с. – URL: <https://malykhmd.neocities.org/doc/abh2021/weierstrass-1.pdf> (дата обращения: 14.03.2026).

3. Алексеев, В. Разрешимость уравнений в конечном виде (теория Лиувилля, дифференциальная теория Галуа, топологические препятствия) / В. Алексеев. – URL: <https://www.math.utoronto.ca/askold/2004-Appendix-Alekseev-teorema-Abel-russian.pdf> (дата обращения: 26.02.2026).

УДК 531

ВЫВОД ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРОПОСФЕРЫ ОТ ВЫСОТЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Студент гр. 10301125 Шпаковский И. Д.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бобученко Д. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Энергия, идущая от Солнца, в основном поглощается поверхностью Земли, а не воздухом. Нагретая поверхность, затем передает тепло нижним слоям атмосферы через теплопроводность и конвекцию (перенос тепла вертикальными воздушными потоками). В данной работе рассмотрено получение зависимости температуры T атмосферы от высоты для нижнего слоя атмосферы (тропосферы) на основе решения уравнения теплопроводности с использованием молекулярно-кинетической теории (МКТ). Стационарное уравнение теплопроводности для одномерного случая (вертикальный перенос тепла) [1]:

$$\frac{d}{dz} \left(\lambda \frac{dT}{dz} \right) = 0, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, по МКТ равный: $\lambda = \frac{1}{3} c_V \rho < v > l$, c_V – удельная теплоемкость воздуха при постоянном объеме, ρ – плотность, $< v >$ – средняя скорость молекул, равная $< v > = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$, l – средняя длина свободного пробега молекул, по МКТ: $l = \frac{1}{\sqrt{2} n d}$, d – эффективный диаметр молекул, n – концентрация молекул; по уравнению состояния идеального газа: $n = \frac{p}{kT}$, и $\frac{p}{\rho} = RT$. Таким образом, в рамках МКТ коэффициент теплопроводности пропорционален корню квадратному от температуры: $\lambda(T) = A\sqrt{T}$, A – коэффициент пропорциональности, значение которого можно получить из экспериментального значения при определенной температуре. Граничное условие: на поверхности земли: $T(z = 0) = T_0$.

В данной работе получено два решения уравнения (1), в зависимости от граничных условий. Первое решение, когда задаются значения температур на нижней и верхней высотах тропосферы, второе решение – значение температуры и потока тепла на нижней границе тропосферы. Рассмотрим первое решение на верхней границе тропосферы: $T(z = H) = T_H$. Тогда из (1): $A\sqrt{T} \frac{dT}{dz} = C_1$, C_1 – плотность теплового потока, определяемого из граничных условий. После интегрирования и использования граничных условий получили:

$$T(z) = \left(T_0^{\frac{3}{2}} - \left(T_0^{\frac{3}{2}} - T_H^{\frac{3}{2}} \right) \frac{z}{H} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (2)$$

$$y = x + Q$$

Второе решение – плотность теплового потока постоянна: $\lambda(T) \frac{dT}{dz} = -q = \text{const}$. Разделив переменные и проинтегрировав, в результате получили зависимость температуры от высоты:

$$T(z) = \left(T_0^{\frac{3}{2}} - \frac{3q}{2A} z \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (3)$$

Полученные зависимости не являются линейными, и скорость убывания температуры с высотой ($\frac{dT}{dz}$) не постоянна. Поток тепла q от Земли, определенный на основе глобального теплового баланса составляет $q \approx 20 \div 50 \text{ Вт/м}^2$ и если в расчетах использовать коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха, то температура должна становиться нулевой на высоте двадцати сантиметров. Это доказывает, что в реальности молекулярная теплопроводность не является основным механизмом переноса тепла в нижних слоях атмосферы. В реальной тропосфере тепло переносится за счет конвекции (подъема теплых масс воздуха), ИК излучения и фазовых переходов воды. Поэтому, в расчетах использовалось эффективное «турбулентное» значение коэффициента теплопроводности $\lambda_{\text{эфф}}(T = 273) = 3850 \frac{\text{Вт}}{\text{м К}}$, $A = 233 \frac{\text{Вт}}{\text{м К}^{3/2}}$. Тогда, как показали расчеты зависимости температуры от высоты, рассчитанные по формуле (3) ($T_0=288 \text{ К}$, $q = 25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$) и по формуле (2) ($H = 11 \text{ км}$, $T_H = 216,5 \text{ К}$) хорошо совпадают с температурой из стандартной атмосферы [2], несмотря на нелинейность.

Литература

1. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
2. Атмосфера стандартная. Параметры: ГОСТ 4401–81. – Взамен ГОСТ 4401–73; введ. 01.07.1982. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 179 с.

УДК 681.2

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ QQ-PLOT ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ

Юхновская О. В., Гундина М. А., Богдан П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Исходные измерения, полученные приборами, могут содержать кроме аномальных значений выраженный нестационарный характер. Поскольку на основе обработанных данных будут считаться числовые характеристики выборки и строится прогнозы [1, 2]. Обработка данных с аномальными значениями имеет особенности связанными с процессом работы конкретного прибора.

В исследовании использовались результаты измерения, полученные цифровым оптическим датчиком пульсоксиметром MAX30100 рефлектометрического типа. Для связи с датчиком использовался микроконтроллер ESP32S3. Частота выборки составляла 200 Гц.

Для обработки использовались данные инфракрасного канала, представляющие собой непосредственно выходные значения АЦП без дополнительного пересчета. По горизонтальной оси отмечены номера измерений параметра, по вертикальной оси фактические значения датчика.

Такой инструмент, как QQ-plot, сравнивает квантили выборки с квантилями теоретического распределения. Если точки лежат примерно на прямой линии $y = x$, это свидетельствует о том, что эмпирическое распределение соответствует теоретическому. Для построения такого графика вначале сортируем эмпирические расстояния Махаланобиса. Строим теоретические квантили хи-квадрат распределения следующим образом:

```
theoreticalQuantiles = Table[
  Sqrt[InverseCDF[ChiSquareDistribution>windowSize], i/(nWindows + 1)]],
  {i, 1, nWindows}];
```

На рис. 1 представлен QQ-plot для проверки хи-квадрат распределения данных (прямой выделена линия идеального соответствия).

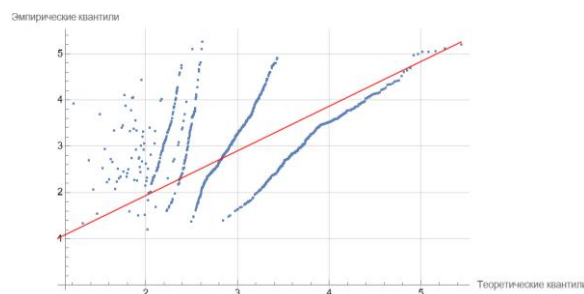


Рис. 1. QQ-plot, построенный для исходной выборки

Данный график показывает наличие точек разного характера. Точки на прямой линии указывают, что расстояния действительно следуют хи-квадрат распределению, остальные точки показывают наличие аномальных значений, которые требуют учета при анализе данных. Для дальнейшего анализа используется оценка сильных отклонений и выявление причин их возникновения.

Литература

1. Гундина, М. А. Математическое и компьютерное прогнозирование: учебно-методическое пособие для студентов специальности 7-06-0533-05 «Прикладная математика и информатика» / М. А. Гундина, М. А. Князев, Н. А. Кондратьева. – Мн.: БНТУ, 2025. – 46 с.

2. Гундина, М. А. Особенности процесса определения количества аномальных значений при обработке измерительной информации / М. А. Гундина, П. С. Богдан, О. В. Юхновская // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 2 (77). – С. 96–103.

УДК 681.2+004

НЕСТАНДАРНАЯ ГРАФИКА В WOLFRAM MATHEMATICA

Юхновская О. В., Гундина М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Графики, представленные в полярных координатах, являются важным инструментом в инженерной практике, предоставляя наглядный и математически способ анализа систем, обладающих круговой симметрией, вращательным движением и угловыми зависимостями. Необходимость их применения заключается в том, что они переводят сложные векторные и периодические зависимости в визуальные образы, позволяя инженеру оценить поведение системы [1, 2]. На рис. 1 представлен результат работы следующих команд, позволяющей анимировать график, представленный в полярной системе координат:

`Animate[PolarPlot[Sin[3 theta]+Cos[n*theta]/2,{theta,0,2 Pi},PlotStyle->Directive[Thickness[0.01],Hue[n/10]],PlotRange->{{-2,2},{-2,2}},PerformanceGoal->"Quality"],{n,1,10,0.1},AnimationRunning->False]` (рис 1а).

Цветок с различными параметрами может быть получен с помощью следующей команды:

`flower[a_,b_,n_]:=PolarPlot[a+b*Cos[n*theta],{theta,0,2 Pi},PlotStyle->Directive[Thick,RandomColor[]]]` (рис 1, б).

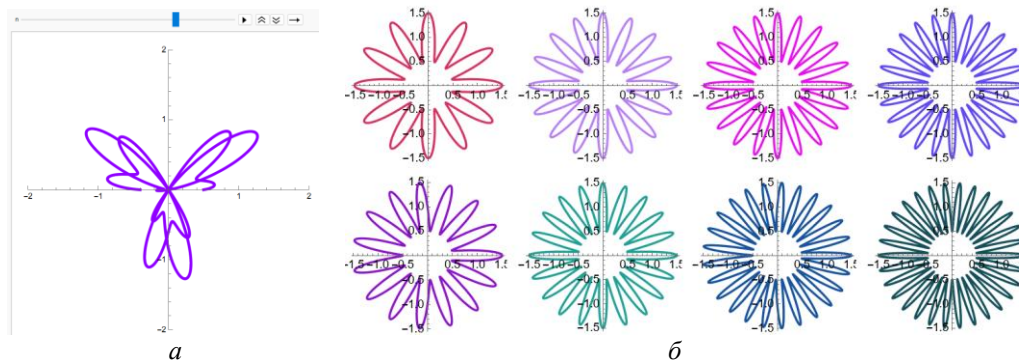


Рис. 1. Поэтапно строящийся график

В радиотехнике и антенном проектировании полярные графики используются для описания диаграмм направленности. Любая антенна, от простого диполя до сложной фазированной решетки, характеризуется тем, как ее излучающая способность меняется в зависимости от угла. Инженер, глядя на такой график, мгновенно оценивает ключевые параметры: ширину основного лепестка, определяющую остроту направленности; уровень и количество боковых лепестков, ответственных за помехи и паразитное излучение; коэффициент усиления. Математические функции, порождающие «розы» с множеством лепестков, моделируют диаграммы направленности антенных решеток, где один из параметров может быть связан с количеством элементов. Анализ таких графиков позволяет оператору и системе автоматического сопровождения различать цели, оценивать их взаимное расположение и траекторию.

В авиационной и автомобильной промышленности полярные графики лежат в основе понимания предельных режимов работы. В автомобилестроении полярная диаграмма управляемости, где отображается зависимость бокового ускорения от угла поворота рулевого колеса, раскрывает характер поведения автомобиля на грани сцепления шин с дорогой.

Таким образом, полярные графики в Wolfram Mathematica – это не просто средство создания эстетичных изображений. Владение этим инструментом позволяет инженеру не только анализировать, но и интуитивно чувствовать поведение проектируемой системы.

Литература

1. Гундина, М. А. Применение облачных технологий в математической подготовке студентов технического университета / М. А. Гундина, Н. А. Кондратьева // Вестник ВГУ. – 2020. – № 2. – С. 5–10.
2. Юхновская, О. В. Формирование математических понятий с помощью моделирования физических явлений / О. В. Юхновская, М. А. Гундина // Новые направления развития приборостроения: материалы 12-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, Минск, 17–19 апреля 2019 г. / редкол.: О. К. Гусев (пред.) [и др.]. – Мн.: БНТУ, 2019. – С. 360.

УДК 681.2

ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ТРЕНДОМ И НЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ

Аспирант Юхновская О. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Исходные измерения, полученные приборами, могут содержать кроме аномальных значений тренд, факт наличия которого нельзя оставлять без внимания. Поскольку на основе обработанных данных будут считаться числовые характеристики выборки и строится прогнозы [1, 2]. Обработка данных с трендом и аномалиями – это классическая задача, которая требует правильной последовательности действий. Ключевое правило: сначала работаем с трендом, потом с аномальными значениями.

При решении данной задачи будем следовать следующему алгоритму:

1. Задаем исходные данные.
2. Проводим анализ и визуализацию.
3. Осуществляем детрендинг.
4. Ищем аномальные значения, как экстремальные, так и не экстремальные.
5. Обрабатываем аномальные значения, некоторые из них удаляем, некоторые корректируем, некоторые сохраняем.
6. При необходимости восстанавливаем тренд.

На рис. 1 представлена построенная линия тренда для исходных данных и график относительных отклонений.

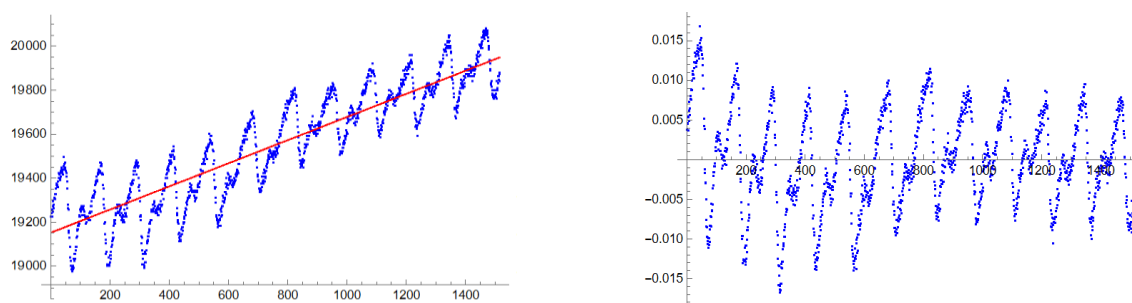


Рис. 1. Данные с трендом и аномалиями. По оси абсцисс располагаются номера измерения, по оси ординат – значения, полученные прибором. График относительных отклонений

Остановимся подробнее на нахождении не экстремальных аномалий, в частности к поиску аномальных значений по разностям. Аномальные значения по разностям – это особый тип аномальных значений, который можно обнаружить только при анализе не исходных данных, а их последовательных изменений во времени. Они часто предшествуют более серьезным сбоям и позволяют выявить проблемы на ранней стадии.

На рис. 2 представлены выявленные не экстремальные аномальные значения.

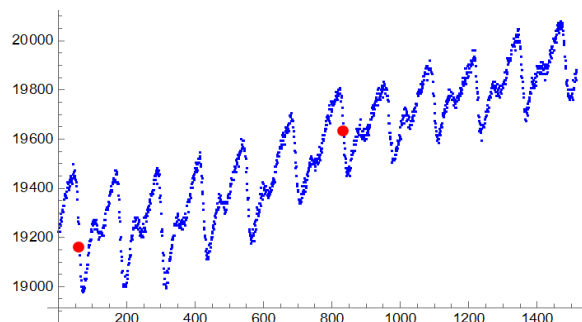


Рис. 2. Аномальные значения по разностям для исходного массива значений

Метод на основе асимметрии данных, схема которого была представлена на рис. 2, позволил выявить не экстремальные аномальные значения.

Литература

1. Гундина, М. А. Математическое и компьютерное прогнозирование: учебно-методическое пособие для студентов специальности 7-06-0533-05 «Прикладная математика и информатика» / М. А. Гундина, М. А. Князев, Н. А. Кондратьева. – Мн.: БНТУ, 2025. – 46 с.
2. Гундина, М. А. Особенности процесса определения количества аномальных значений при обработке измерительной информации / М. А. Гундина, П. С. Богдан, О. В. Юхновская // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 2 (77). – С. 96–103.

СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОСФЕРА И МЕНЕДЖМЕНТ СПОРТА

UDC 615.825.6

ADAPTIVE CALF MUSCLE STRETCHING SIMULATOR

Master's Student Dong Yang

PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

To improve the quality of volleyball players' training, stretching exercises, including calf muscles, are important. To increase the effectiveness of calf muscle training, a simulator concept has developed that allows you to regulate quickly the tension of these muscles.

The simulator is a diving recess (Fig. 1). During landing, the calf muscle 1 stretched.

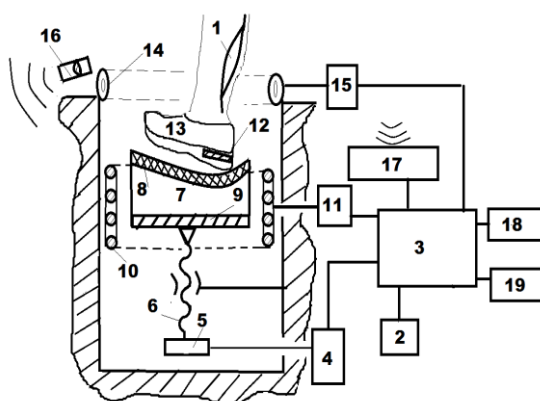


Fig. 1. Diagram of an adaptive simulator for stretching the calf muscles

The depth of the jump can be adjusted through the control device 2, the central processor 3, the electric motor driver 4, the electric motor 5, screw-nut pair 6. The screw-nut pair 6 provides lifting of the platform 7.

An elastic plate 8 reinforced on top of the platform to prevent injury in contact with the platform, and a core 9 is at the bottom. The core 9, together with an inductor 10. It controlled through a central processor 3, a coil driver 11, and a magnetic gasket 12 in the heel of the sneaker 13, creates an adjustable magnetic field of attraction of the heel to the platform. The magnetic field through the sneakers 13 allows you to adjust the force of the foot tilt and, accordingly, the stretching of the calf muscle 1.

To prevent an unsuccessful fall during the exercise, an airbag 14 installed along the perimeter of the recess, which activated through the driver 15 and the central processor 3. Monitoring of the athlete's safe body position carried out by a set of video cameras 16, from where through a Wi Fi signal that goes to the camera drivers 17 and the central processor 3. In the central processor 3, if necessary, a signal sent through the driver 15 to open the airbag 14.

The central processor 3 constantly sends training information to databases 18 and it connected to an information playback device 19.

UDC 796.034.6

ANALYSIS OF PREVENTION AND TREATMENT FOR WESTERN ELDERLY MOBILITY IMPAIRMENT: A CHINESE-WESTERN HEALTH CULTURE PERSPECTIVE

Master's student gr. 51313325 Gangjian Xiao

PhD, Associate Professor Kovel S. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Chinese healthcare culture views mobility impairment as a localized pathological problem caused by muscle atrophy and joint degeneration, relying on standardized clinical treatment and high-tech assistive devices for functional compensation. This approach quickly alleviates symptoms but ignores the holistic physical deterioration of older adults.

The aim of this study is to examine key Chinese-Western healthcare concepts, clinical measures for the prevention and treatment of this condition, and the use of mobility assistive devices (walkers, rehabilitation equipment, and intelligent orthoses) as key intervention tools.

A theoretical analysis of current literature on geriatric rehabilitation, Chinese-Western healthcare culture, and assistive devices for the elderly, conducted to identify relevant theories and practices, revealed that Western healthcare culture is based on a biomedical model focused on accurate diagnosis, treatment, and technological development.

Chinese healthcare culture focuses on "preventing disease before it occurs," adhering to the holistic concept of "harmony between man and nature and prevention over cure". It views mobility impairment as a complex result of systemic physical deterioration, using gentle wellness exercises and traditional Chinese medicine methods to regulate the entire body with minimal side effects. However, it is limited by Western cultural concepts.

A single intervention model does not achieve optimal results. Chinese and Western healthcare cultures must complement each other, forming a "conceptual guidance - clinical treatment - device empowerment" model using assistive devices. Western assistive devices are primarily designed for functional compensation; integrating Chinese concepts of muscle and bone health maintenance (e.g., adding Tai Chi-based modules to rehabilitation equipment, optimizing the ergonomics of walking aids) can transform devices from compensatory to supportive, enabling gradual recovery. Combining Western precision manufacturing with standardized Chinese healthcare elements increases the effectiveness of comprehensive interventions.

In summary, the integration of Chinese and Western healthcare cultures underpins the scientific approach to treating mobility impairments in the elderly in the West. The combination of Chinese holistic prevention with Western precision clinical technologies and the alignment of assistive devices with integrated concepts forms a "prevention-treatment-rehabilitation-empowerment" system. This system utilizes Western technologies for rapid symptom relief and Chinese healthcare concepts for long-term physical health maintenance, significantly reducing the incidence of mobility impairments and helping older adults in the West maintain their ability to live independently.

References

1. Zhang, Y. TCM Health Preservation for Elderly Mobility Impairment: A Systematic Review / Y. Zhang, L. Wang // Journal of TCM. – 2024. – Vol. 44, № 5. – P. 612–620.
2. Smith, J. D. Smart Assistive Devices for Elderly Mobility Impairment / J. D. Smith, A. M. Jones // Journal of Geriatric Rehabilitation Engineering. – 2023. – Vol. 36, № 3. – P. 145–158.
3. Li, M. Cross-cultural Comparison of Chinese-Western Health Concepts in Geriatric Care / M. Li, H. Zhang // Comparative Medicine and Health. – 2025. – Vol. 8, № 1. – P. 78–86.

UDC 796.015.854

INTELLIGENT ANALYSIS OF BASKETBALL PERFORMANCE AND REFEREE DECISION-MAKING IN MODERN COMPETITIONS

Master's student gr. 51313325 Mingyang Liu

PhD, Associate Professor Kovel S. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Modern basketball competitions are characterized by high intensity, rapid tactical transitions, and complex game situations requiring quick and accurate referee decisions. With the development of sports analytics and digital technologies, data mining has become an important tool for evaluating player performance and improving the objectivity of refereeing decisions. The integration of statistical indicators and video analysis allows researchers to identify patterns in game situations and better understand the relationship between player tactical actions and referee decisions.

The purpose of this study is to examine the statistical indicators of basketball matches and refereeing decisions recorded during key game episodes. The object of this study is competitive activity in professional basketball games, including situations involving fouls, violations, turnovers, and other events requiring a referee decision.

The following methods were used in the study: review of scientific literature, research reports, and methodological materials related to sports analytics, performance evaluation in basketball, and refereeing decisions in sports competitions [1, 2]. Analysis of analytical data from basketball video recordings

to identify key game situations related to referee decisions and player tactical actions; statistical analysis of game metrics, such as shooting efficiency, rebounds, assists, turnovers, and fouls, to assess their relationship with referee decisions; comparison of statistical metrics and referee decisions to identify patterns influencing referee decisions in high-intensity situations.

As a result of the conducted analysis of the scientific literature, it was established that the most informative data for athletes and coaches is the analysis of the relationship between player performance and referee decisions, the identification of key statistical indicators influencing the interpretation of game situations, the study of the frequency of referee decisions during critical phases of the game, and the analysis of the influence of player tactical actions on referee decisions. Video analysis revealed that the most important areas of research include the application of intelligent analytical methods in basketball, the use of statistical indicators and video analysis to evaluate the effectiveness of game actions, the development of analytical models for interpreting complex game situations, and the exploration of the potential application of data-driven analytical tools in sports performance research.

Therefore, intelligent analysis should be considered as a complementary tool supporting expert judgment and practical officiating experience.

References

1. Oliver, D. Basketball on Paper: Rules and Tools for Performance Analysis / D. Oliver. – Washington: Brassey's Inc., 2004. – 376 p.
2. Plessner, H. Sports performance judgments from a social cognitive perspective / H. Plessner, T. Haar // Psychology of Sport and Exercise. – 2006. – Vol. 7, № 7. – P. 555–575.

УДК 796.034.6

GAME STATISTICAL INDICATORS ANALYSIS TO SUPPORT TACTICAL DECISION-MAKING IN BASKETBALL: A CASE STUDY OF THE 2025 FIBA ASIA CUP FINAL

Master's student gr. 51313325 Mingyang Liu

PhD, Associate Professor Scherbakova E. N.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The purpose of this work is to determine the role and significance of statistical indicators in supporting the tactical decisions of the coaching staff of the Chinese men's national basketball team, as well as to identify key performance indicators that influence the evaluation of the game model based on the analysis of the 2025 FIBA Asia Cup Final match.

The object is the competitive activity of the Chinese men's national team and the opposing team in the 2025 FIBA Asia Cup Final match, and the subject is the official statistical indicators of the match (field goal efficiency, three-point and free throw accuracy, rebounds, assists, turnovers), considered as a tool for tactical analysis.

Research Methods and Organization:

1. Theoretical Analysis: Study of scientific and methodological literature and publications devoted to modern approaches to analyzing performance in basketball and the use of advanced statistics [1, 2].

2. Video Analysis: Viewing and detailed analysis of the full recording of the final match to assess the organization of the offense, the structure of the defensive formations, and the quality of the execution of tactical assignments.

3. Analysis of Key Statistical Indicators: evaluation of the team's overall performance (field goal percentage, three-point shooting, and free throw line shooting percentage), analysis of team balance indicators (offensive and home rebounds, assist/turnover ratio).

4. Tactical data interpretation: Establishing relationships between statistical data and tactical elements of the game (ball speed, effectiveness of positional attacks, success of fast breaks).

5. Pedagogical observation and modeling: Assessing the impact of identified statistical patterns on coaching decisions (roster rotation, identifying key players at crucial moments, adjusting game plans).

Statistical analysis provides objective, quantifiable information, allowing coaching staff to minimize the influence of subjective assessments. A detailed analysis of metrics such as shot percentage versus distance, assist/turnover ratio, and rebounding efficiency allows for the precise identification of successful tactical patterns and, conversely, weak points in a team's play.

At the same time, game statistics taken in isolation cannot fully reflect the diverse tactical nuances of a match. Critically important aspects such as the intensity of defensive pressure, the effectiveness of off-the-ball actions (screens, distractions), players' psychological resilience under pressure, and team chemistry are difficult to directly quantify. Therefore, statistical analysis should be viewed not as an alternative, but as an important complement to expert video review and coaches' practical experience.

Thus, retrospective analysis of game statistics forms the analytical basis for the work of basketball coaching staffs. The integration of quantitative indicators with their tactical interpretation allows coaches to form a more complete and objective picture of the team's performance, make more effective and informed decisions regarding game strategy, timely roster rotation, and prioritization of training sessions.

References

1. Basketball on Paper: Rules and Tools for Performance Analysis. – Washington: Brassey's Inc., 2004. – 352 p.
2. FIBA Official Basketball Statistics Guide // FIBA: The Home of Basketball. – URL: <https://www.fiba-basketball> (date of access: 05.03.2026).

UDC 57.016:371.72

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE ANALYSIS OF FACIAL EXPRESSIONS OF ATHLETES TO STUDY THEIR EMOTIONAL STATE

Master's Student Song TingTing

PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The state and movement of the mimic muscles of the human face are associated with both the emotional and physical state of a person.

If the observers of emotions are experts, it is necessary to conduct special training for them. The Geneva Wheel of Emotions used to select the type of one of the 17 generalized emotions, taking into account their intensity on a five-point scale (Fig. 1).

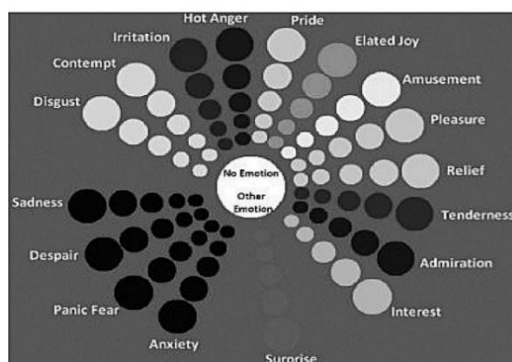


Fig. 1. Geneva Wheel of Emotions [1]

If the observers of emotions are experts, it is necessary to conduct special training for them.

In Fig. 2 shows the scheme of computer analysis of the athlete's emotional state by the nature of facial expressions.

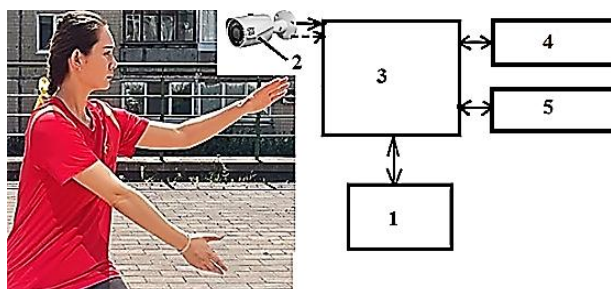


Fig. 2. Scheme of analysis of the athlete's emotional state by the nature of facial expressions

The system initiated through the control device 1. The image of the face recorded by one or more video cameras 2. Information from the video camera transmitted by wired or wireless method to

processor 3, where the received information is processed, that is, the video image determines the nature of emotions and their intensity in points, as well as the change of these characteristics in the process of sports activity. The specified information, as well as the recorded video sequence from processor 3, transferred to database 4. The analysis of the received information carried out using display 5.

The technique of computer analysis of the athlete's emotional state by the nature of facial expressions does not require exposure to a person with an electric current or electromagnetic field, does not require the creation of special devices for research, does not require time for research, since the study can be carried out during training or competitions.

References

1. Barabanshchikov, V. A. Human Emotional State Assessment Based on a Video Portrayal / V. A. Barabanshchikov, E. V. Suvorova // *Experimental Psychology (Russia)*. – 2020. – Vol. 13, № 4. – P. 4–24.

UDC 004+796.01-057.875

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGY FOR SPRINTER TRAINING

Master's Student Song Yangtian

PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Achieving high achievements in sprinting requires an athlete to develop muscle strength, as well as a quick reaction at the start.

The first task solved through strength training with resistance. Intensive strength training of sprinters with resistance increases the ability of motor nerves to regulate the rate of mobilization of muscle fibers, the level of synchronicity and the number of fibers involved [1, 2]. These workouts divided into 3 types: building the foundation of muscle strength (barbell squats, barbell squats and dumbbell squats), power training (box jump down, step sprinting with a load) and strengthening reactive strength (consecutive jumping over barriers, running with a sled).

In addition to the well-known resistance training methods, it is possible to develop movement training in viscous and loose media.

An analysis of the simulators used for the above types of training revealed their following disadvantages. Firstly, technical elements and devices for training (load-bearing devices, leg support devices, resistance devices, and others) have, as a rule, unchangeable or discretely variable parameters. At the same time, the anthropometric and physical parameters of sprinters can vary significantly. In addition, the condition of the same sprinter and, accordingly, the intensity of his current training may be different. Therefore, it is necessary smoothly adjust the change in the parameters of the simulators. For example, to increase the effectiveness of training in viscous and bulk media, it is necessary to control the parameters of the viscosity of the medium or the size of the granules of the bulk medium in time and space.

Secondly, it is not possible continuously record the sprinter's condition parameters (pulse rate, muscle electrical potential, breathing rhythm, body movement pattern, pressure on the floor, and others) in the database. Having such a database will allow the coach and athlete quickly adjust both the training system and the intensity of the current workout.

An athlete's reaction to an acoustic signal depends on the following factors: the intensity of the signal, the rhythm of breathing, the nature of the preliminary warm-up, the age and gender of the athlete (in most cases, men react faster), the length of the distance, and athletic experience [3]. Traditionally, improving sprinters' reaction time training methods involves using a low-start training sequence (usually 3–4 sets of 2–5 times), with short running distances (30–70 m). It also used to combine starts with strength exercises, resistance training (elastic straps with a load of 20–40 N), exercises to develop flexibility and cognitive abilities.

To improve the technique of reaction time training, it shows that to be solved several tasks need. First, it is necessary to propose systems for generating the starting sound and the noise signal with the ability to adjust the intensity and spectral composition of the noise. Secondly, it is necessary to propose training methods that reduce reaction time. Thirdly, it is necessary to propose an optimal system for monitoring the reaction time to an auditory stimulus.

To create a database, it is necessary to link sensors that monitor the athlete's condition, drivers for transmitting a signal to a processor, and a processor unit that processes incoming signals and transmits

them to information storage and display devices into a single system. In addition, programs of training parameter optimization are loaded into the processor, and simulator parameters controlled through the processor.

References

1. Effects of low-load, higher-repetition vs. high-load, lower-repetition resistance training not performed to failure on muscle strength, mass, and echo intensity in healthy young men: A time-course study / T. Ikezoe, N. Kobayashi, M. Umehara [et al.] // *Journal of Strength and Conditioning Research*. – 2020. – Vol. 34, № 12. – P. 3439–3445.
2. Active and passive recovery influence responses of luteinizing hormone and testosterone to a fatiguing strength loading / R. S. Taipale, A. Häkkinen, H. Komi [et al.] // *European Journal of Applied Physiology*. – 2018. – Vol. 118, № 1. – P. 123–131.
3. Озолин, Э. С. Старт / Э. С. Озолин // Спринтерский бег. – URL: <https://educ.wikireading.ru/huDd9bUAoN> (дата обращения: 14.02.2026).

UDC 007.52

USING ANDROID ROBOTS AS PARTNERS FOR WUSHU TRAINING

Master's Student Sun Qi

PhD, Associate Professor Zaitseva E. G.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Athletic wushu is one of the types of traditional Chinese martial arts, including, in particular, participation in duels, breathing exercises, and psychophysical training. Practicing this sport requires systematic training with a partner. Obviously, athletes differ in their anthropometric and physical parameters, and they belong to different psychological types. In addition, their skill level changes during training.

Obviously, for training matches to be highly effective, an athlete must have the opportunity to choose a wide range of partners. At the same time, the partners should differ in the same parameters as the athletes evaluated, therefore, from an organizational and technical point of view, it is difficult for the athlete and the coach to choose the athlete needed during this training period.

It is possible to solve this problem by using android robots as partners. It known [1] that android robots used in the Shaolin Monastery for kung fu training (Fig. 1), and the T800 robot participated in a Muay Thai duel.



Fig. 1. Joint training of monks and android robots at Shaolin Monastery [1]

To use android robots more effectively, it is necessary, first, to ensure the variability of their geometric characteristics (height, size of limbs and torso), and the elasticity parameters of the elements in contact with the athlete. Secondly, the robots' software should provide for the ability to control their "skill level", that is, their speed and reaction power. Thirdly, the visual and sound design of the robot interface should be as close as possible to the human image in order to better adapt the athlete to future competitions.

References

1. In China, robots are learning martial arts // Antikor.info. – URL: https://antikor.info/ru/articles/819872-kremnievyj_aolinj_kak_kitajskie_roboty_osvaivajut_kung-fu_vmeste_s_monahami (date of access: 15.02.2026).

УДК 796.339.138

ИНДУСТРИЯ СПОРТА КАК ОБЛАСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МАРКИ

Студент гр. 11904123 Асатрян Б. М.

Кандидат экон. наук, доцент Карнейчик В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Термин торговая марка применяется на начальном этапе, когда необходимо уникальное обозначение товара или услуги. В случае прохождения соответствующей регистрации торговая марка уже становится защищенной от копирования и становится товарным знаком. В Республике Беларусь товарный знак осуществляет функцию юридической защиты торговой марки и подтверждает интеллектуальную собственность отдельного лица на этот знак. Товарным знаком признается обозначение, способствующее отличию товаров, работ и (или) услуг одного лица от однородных товаров других лиц [1].

Спортивная индустрия тесно взаимодействует с обществом, активно влияет на формирование интересов и предпочтений. В связи с этим, организации, компании, в том числе опосредованно связанные с физической культурой и спортом, все чаще используют эту сферу для продвижения своих товаров и услуг. Именно активная коммуникация с потребителями играет важную роль в передаче ценностей марки потенциальным клиентам [2].

Существование спортивной марки, как потенциального продукта, заставляет организацию думать о ней, отражая клубные стандарты, как о товаре, который постоянно требует продвижения. Статус и престижность марки создаются постепенно и дойдя до определенного уровня, приобретают стабильный статус, представляют интерес для потребителя, на протяжении длительного периода [3].

Анализ показывает, что такие инновации в спорте, как носимые устройства – смарт-браслеты, умные часы и датчики, стали ключевым инструментом позиционирования и продвижения марок в современном обществе. Технологические компании задействуют сферу спорта как элемент своего имиджа, интегрируя функции контроля физического состояния, питания, активности в универсальные гаджеты.

Известные компании используют эту нишу для повышения имиджа своей марки, например, Xiaomi, Samsung, Apple. Многие технические устройства имеют ограниченное количество функций и обладают сдержанным дизайном, в то время как мировые гиганты, такие как Apple или Samsung, внедряют в гаджеты самые передовые функции и премиальный дизайн. Несмотря на это, особенностями в использовании они принципиально не отличаются, но имидж компании делает марку в глазах потребителя более технологичной, и, соответственно, более предпочтительной для использования, за это они готовы платить высокую цену. Престижная цена подчеркивает статусность приобретаемого продукта и обеспечивает сверхприбыль товаропроизводителю.

Существуют так же и бренды, как Garmin, Polar, Suunto, которые позиционируют себя как технологические спортивные компании, ориентируясь при изготовлении оборудования на потребности спортсменов-профессионалов. Их марки более известны в профессиональном спортивном сегменте, на который они концентрируют свои усилия в продвижении товаров, делая акцент на качестве и решении конкретных задач спорта высших достижений.

Специализированные бренды строят свою идентичность исключительно вокруг спорта, предлагая профессиональные решения для тренировок и соревнований, а массовые бренды используют сферу спорта как часть имиджа. Однако все они пользуются преимуществами рассматриваемой индустрии для собственного продвижения и создания имиджа технологичной марки.

Рост интереса к здоровому образу жизни и цифровизации спорта отражает мировые тенденции, где инновации становятся неотъемлемой частью повседневной активности и формируют новые стандарты потребительских ожиданий. Использование инновационных технологий позволяет маркам не только укреплять имидж, но и создавать устойчивые конкурентные преимущества, обеспечивая долгосрочную лояльность потребителей. Так, индустрия спорта выступает не просто инструментом позиционирования, но и стратегическим направлением развития брендов в условиях глобальной цифровой трансформации.

Литература

1. О товарных знаках и знаках обслуживания: Закон Респ. Беларусь, 5 февр. 1993 г., № 2181-XII: в ред. Закона Респ. Беларусь // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 06.02.2026).

2. Солдатина, А. А. Коммуникация спортивных брендов и общественности / А. А. Солдатина // Вестник науки и образования. – 2022. – № 5 (125). – С. 60–62.
3. Томич, М. Маркетинг в спорте. Рынок и спортивные продукты / М. Томич. – М., 2002. – С. 156.

УДК 796.89

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ МЫШЦ СПИНЫ

Студент гр. 11904122 Ахмадов К. В.

Ст. преподаватель Самохвал П. М.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Актуальная социально-экономическая обстановка диктует неуклонную динамику роста патологий опорно-двигательной системы, что детерминировано повсеместным распространением двигательного дефицита и возрастанием статического давления на позвоночный столб. Деформации осанки, дистрофические процессы в межпозвонковых дисках, а также персистирующие болевые синдромы в дорсальной области трансформируются в серьезную медико-социальную проблему. Она затрагивает широкие слои населения: от граждан, придерживающихся сидячего образа жизни, до атлетов профессионального уровня. Центральным звеном профилактических мер и реабилитационных программ при данных нарушениях выступает функциональное состояние мышечного корсета спины. Хорошо развитая мускулатура гарантирует стабилизацию туловища, эффективную амортизацию осевых воздействий и сохранение естественных физиологических изгибов хребта. Тем не менее, применяемые ныне средства физической реабилитации и силовой подготовки зачастую обладают узкой специализацией. Они не дают возможности комплексно нагружать поверхностные и глубокие мышечные группы в едином режиме, что понижает результативность тренинга и увеличивает вероятность травматизации пояснично-крестцового сегмента.

Целевая установка настоящего исследования заключается в научном обосновании конструктивных особенностей тренажера, предназначенного для всестороннего развития мускулатуры спины. Устройство должно обеспечивать вариативность нагрузочных режимов и гарантировать безопасность эксплуатации для пользователей с низким уровнем физической подготовленности.

В рамках аналитического этапа был детально изучен функциональный потенциал имеющегося тренажерного оборудования, что позволило констатировать потребность в создании агрегата, объединяющего возможности силового тренинга и лечебной гимнастики. Проектируемый тренажер базируется на рычажно-платформенной механике, оснащенной автономными рабочими рычагами. Подобная кинематическая архитектура дает возможность изменять вектор прилагаемого усилия и амплитуду траектории в разноплановых плоскостях, что находится в полном соответствии с естественной биомеханикой человеческой моторики. Система создания сопротивления может быть реализована посредством дисковых утяжелителей или блочных механизмов, что гарантирует плавную градацию нагрузки: от минимальных показателей (необходимых для реабилитационного восстановления) до предельных значений (требуемых для спортивно-силовой подготовки).

Конструктивные нюансы разработанного устройства позволяют адресно задействовать ключевые мышечные массивы спины: широчайшие, трапецевидные и ромбовидные мышцы, позвоночные разгибатели, а также глубокие стабилизаторы кора. Существенным элементом компоновки выступает наличие эргономичных опорных поверхностей для грудной клетки и тазовой области, дополненных регулируемыми фиксаторами. Это гарантирует сохранение стабильного и анатомически корректного положения позвоночного столба в процессе выполнения тяговых усилий, предотвращая компенсаторные движения и минимизируя компрессионное воздействие на поясничный отдел. Принцип комплексного влияния, интегрирующий динамическую и статическую работу, способствует не только увеличению объема мышечных волокон, но и совершенствованию нейромышечной координации, а также повышению выносливости стабилизационного аппарата.

Результативность применения тренажеров комплексного воздействия находит подтверждение в современных изысканиях сферы биомеханики и спортивной медицины. Они демонстрируют положительную динамику силовых показателей и качества стабилизации позвоночника при условии систематического тренировочного процесса.

Проектирование тренажера для всестороннего укрепления мышц спины представляет собой актуальное и перспективное направление в области физической культуры, профессионального спорта и медицинской реабилитации. Интеграция данного оборудования в деятельность реабилитационных клиник и спортивных сооружений способствует укреплению общественного здоровья, росту физической работоспособности и действенной профилактике позвоночных патологий. Сочетание конструктивной устойчивости, гибкости настроек и биомеханической обоснованности упражнений гарантирует устойчивый позитивный эффект в долгосрочной перспективе, что обуславливает востребованность разработки для решения задач современного здравоохранения и спортивной индустрии.

УДК 331.796

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В БЕЛОРУССКОЙ СПОРТИВНОЙ ОТРАСЛИ

Студент гр. 11904123 Бекар Е. Е.

Кандидат экон. наук, доцент Карнейчик В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях современных социально-экономических преобразований эффективность функционирования организаций физической культуры и спорта напрямую зависит от качества реализации управленческих функций. Функция организации играет роль своеобразного фундамента, на котором строится взаимодействие всех подразделений, распределяются ресурсы и устанавливаются полномочия. Для Республики Беларусь, где спорт является значимым элементом государственной политики, оптимизация организационных структур спортивных организаций становится приоритетной задачей.

Процесс управления любой системой состоит из планирования, организации, мотивации и контроля. Функция организации при этом заключается в создании структуры предприятия, которая дает возможность людям эффективно работать вместе для достижения поставленных целей. Основными элементами этой функции являются: формирование структуры, распределение задач и полномочий, определение механизмов координации и коммуникации, создание регламентов и стандартов деятельности.

В теории менеджмента выделяют различные типы организационных структур: линейные, функциональные, линейно-функциональные и др. Для сферы спорта наиболее характерна линейно-функциональная структура, обеспечивающая баланс между стратегическими и оперативными целями [1].

Основными направлениями совершенствования организационной деятельности в ФКиС Республики Беларусь являются:

- Цифровизация управленческих процессов (внедрение CRM-систем в работу клубов).
- Оптимизация численности административного аппарата в пользу профильных специалистов.
- Развитие горизонтальных связей между спортивными школами и профессиональными клубами.

Спортивная отрасль страны имеет уникальную государственно-общественную систему управления. Центральным органом является Министерство спорта и туризма Республики Беларусь, которое координирует деятельность на всех уровнях: от республиканских центров олимпийской подготовки (РЦОП) до специализированных детско-юношеских школ (СДЮШОР).

Ключевыми организационными особенностями в Республике Беларусь являются: 1) многоуровневость системы: жесткая вертикаль управления от министерства до региональных управлений спорта; 2) сочетание коммерческих и бюджетных начал: организации должны не только выполнять государственный заказ по подготовке резерва, но и обеспечивать финансовую устойчивость (например, через развитие платных услуг); 3) лицензирование и сертификация: организационная деятельность профессиональных клубов (например, ФК «БАТЭ») жестко регламентирована требованиями международных федераций (UEFA, FIFA), что включает в себя финансовый фэйр-плей и стандарты инфраструктуры [2].

Организация деятельности в спорте невозможна без четкого распределения финансовых потоков. В Республике Беларусь важную роль играет государственная поддержка через Указы

Президента, которые накладывает на менеджмент организаций дополнительные обязательства по организационному контролю за целевым использованием средств [3].

Функция организации в спорте – это не только построение схемы подчиненности, но и создание адаптивной среды, способной реагировать на внешние вызовы. Таким образом, грамотная реализация функции организации позволяет трансформировать материальные и человеческие ресурсы в высокие спортивные результаты и экономическую эффективность.

Литература

1. Мескон, М. Х. Основы менеджмента / М. Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М.: Дело, 2015. – 672 с.
2. Тихонович, С. Н. Маркетинг и менеджмент в спорте: белорусский опыт / С. Н. Тихонович. – Мн.: БГУФК, 2021. – 51 с.
3. Об оказании поддержки организациям физической культуры и спорта: Указ Президента Респ. Беларусь, 15 апр. 2013 г., № 191 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 01.02.2026).

УДК 681

МОНИТОРИНГ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ

Студент гр. 11904123 Бекар Е. Е.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Мониторинг уровня глюкозы в крови является важной составляющей профилактики и лечения сахарного диабета, а также контроля физического состояния спортсменов. Своевременное определение гликемии позволяет избежать гипогликемии и гипергликемии, снизить риски осложнений и оптимизировать тренировочный процесс. В связи с этим глюкометры – портативные приборы для измерения сахара в крови – становятся важным элементом спортивной медицины и биохимии.

Существующие глюкометры классифицируются на инвазивные (требующие прокола кожи) и неинвазивные (не требующие прокола кожи). Первые делятся на фотометрические, электрохимические и кулонометрические. Вторые используют метод оптической спектроскопии. Наиболее распространены электрохимические устройства, использующие ферментативную реакцию глюкозооксидазы и измеряющие полученный электрический ток.

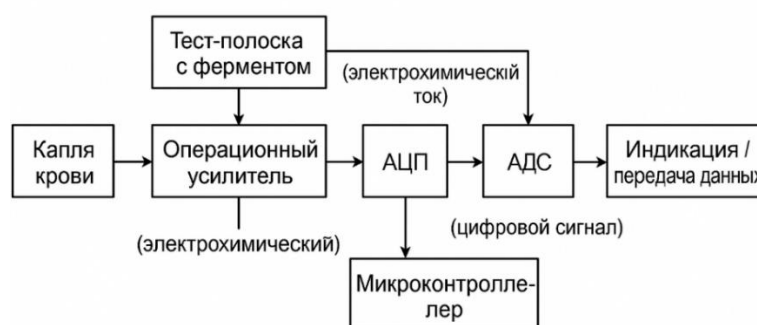


Рис. 1. Функциональная схема ПИП

Разработанная схема первичного измерительного преобразователя (ПИП) включает: измерительную ячейку с ферментом (тест-полоска); рабочий и вспомогательный электроды; преобразователь ток-напряжение (в нашем случае операционный усилитель); АЦП (Аналогово-цифровой преобразователь) и микроконтроллер; источник питания и дисплей. Преобразование химического сигнала в цифровой реализуется через несколько этапов: ферментативная реакция → электрохимическое окисление → преобразование тока в напряжение → оцифровка → вывод результатов.

Статический режим – предполагает прокол пальца и забор капиллярной крови, обеспечивает высокую точность при стабильной концентрации глюкозы, используется в бытовых глюкометрах. Динамический режим – характерен для систем непрерывного мониторинга, требует повышенного быстродействия и устойчивости к шумам.

По проведенному анализу выявили, что для проведения исследований высокой точности следует применять инвазивные глюкометры, основанные на электрохимическом методе исследования, при этом время отклика также будет достаточно быстрое (5–10 секунд) и стоимость остается достаточно низкой. Если же использовать неинвазивные глюкометры, основанные на спектроскопическом методе исследования, точность исследования будет ниже, время отклика также увеличится, но этот метод остается очень перспективным.

Проведенное исследование подтверждает, что электрохимические глюкометры остаются наиболее оптимальным выбором для массового применения благодаря сочетанию точности, скорости и доступности. Однако совершенствование алгоритмов компенсации и разработка неинвазивных сенсоров открывают перспективы для более комфортного и точного контроля уровня сахара в крови. Разработка и анализ схемы ПИП позволяют формировать основу для улучшения современных и будущих глюкометрических систем.

УДК 004:334

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ВЗАИМОСВЯЗЬ ФУНКЦИЙ МЕНЕДЖМЕНТА

Студент гр. 11904123 Голуб В. И.

Кандидат экон. наук, доцент Карнейчик В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях экономической нестабильности, ускоренной цифровизации и растущих требований к качеству управленческих решений, возрастает необходимость не просто формального применения функций менеджмента, а понимания их системной взаимосвязи. Эффективность управления зависит не от отдельных функций, а от степени их согласования и взаимодействия в едином управленческом цикле.

На начальном этапе происходит планирование, затем осуществляется организация процесса производства, выбираются инструменты воздействия на сотрудников, с целью повышения эффективности их деятельности, и осуществляется контроль как в процессе, так и по завершению работы. На первый взгляд, функции менеджмента представляются как последовательные этапы, но они объединены в непрерывный взаимосвязанный цикл.

Тесное взаимодействие отмечается между планированием и контролем, контролем и мотивацией, организацией и координацией. Планирование без грамотного контроля не позволяет адекватно оценить достижение цели организации. Организация без планирования и координации становится хаотичной – нет ясности в задачах и приоритетах. Отсутствие контроля вклада каждого работника в общее дело не позволяет выработать систему мотивационных связей. Мотивация без четких целей и структуры оказывается нецеленаправленной – сотрудники не понимают, за что именно их поощряют. Контроль без мотивации может восприниматься как давление, а не как инструмент развития. Более того, изменения в одной функции вызывают каскадный эффект в других. Новые стратегические цели могут повлечь за собой изменение ролей в организации и системы поощрений.

В современных условиях одним из критериев успешной управленческой деятельности является внедрение цифровых технологий, которые помогают охватить и объединить все функции менеджмента. Цифровизация позволяет: 1) упростить технологию контроля на всех уровнях, что помогает совершенствовать процессы системного планирования, на основе контрольных точек; 2) более точно, быстро соотнести выполнение намеченных планов и, при необходимости, скоординировать действия в условиях реального времени; 3) трансформировать сетевое планирование, упростив его визуально-графическими формами представления; 4) повысить прозрачность и плановую дисциплину; 5) адресно распределять обязанности по должностям [1]; 6) точнее корректировать планы и перераспределять ресурсы; 7) создавать для сотрудников более комфортную среду, сокращать время выполнения трудовых обязанностей; 8) отслеживать вклад каждого работника в деятельность организации, контролировать качество выполняемых задач, справедливо оценивать достижения, что делает возможным переход к гибким формам мотивации, а это может потребовать перестройки организационной структуры – от иерархической к сетевой или проектной.

В основе цифровых технологий лежат разные принципы взаимодействия с функциями организации. Одни концентрируются на качестве, прогнозировании, планировании, выявлении проблемных областей, другие определяют четкую структуру производственных процессов, разделении функциональных обязанностей [2]. В целом, они направлены на изменения организационной структуры, улучшение методики управления, организацию и разделение труда, внедрение инновационных технологий [1].

Исходя из сказанного, эффективное управление возможно только при согласованной работы всех функций менеджмента. Темпы внедрения инновационных технологий управления в менеджменте должны нарастать, позволяя увеличивать конкурентоспособность организации. Цифровизация позволяет объединить функции управления в единую систему, что обеспечивает быструю адаптацию к меняющимся условиям, повышает качество управленческих решений и сокращает время их принятия.

Литература

1. Горбова, И. Н. Управленческие инновации в условиях цифровизации деятельности бизнес-структур / И. Н. Горбова, И. И. Михалев, Д. А. Суханов // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – № 42 (4). – С. 89–95.
2. Взаимосвязь функций и технологий управления человеческими ресурсами в малом и среднем бизнесе в условиях цифровой трансформации / Р. В. Данышев, Д. В. Зюкин, О. Т. Овчинникова [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 241–245.

УДК 796.41

ТЕНЗОМЕТРИЯ В СПОРТИВНОЙ И ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ГИМНАСТИКЕ

Студент гр. 11904122 Гулевич О. Н.

Ст. преподаватель Самохвал П. М

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

На современном историческом этапе поступательного развития гимнастических видов спорта наблюдается неуклонный и значительный рост сложности конкурсных программ, обусловленный постоянным обновлением правил и повышением конкуренции на международной арене. Параллельно с этим фиксируется заметное усиление интенсивности тренировочных режимов, направленных на освоение новых элементов высшей категории трудности. В дополнение к этому возрастают стандарты точности исполнения двигательных актов, где каждая деталь техники влияет на итоговую оценку. В сложившейся ситуации классические способы визуального наблюдения за техникой элементов показывают недостаточную информативность и высокую долю субъективизма, обусловленную ограничениями человеческого восприятия, усталостью тренерского состава и невозможностью фиксировать быстротечные процессы в реальном времени. Это делает крайне актуальным внедрение специализированных инструментальных методов биомеханического анализа, способных предоставить объективную картину происходящего. Тензометрия, выступающая в качестве высокоточного способа фиксации деформационных изменений и механических напряжений в искусственных конструкциях и живых тканях, открывает доступ к точным количественным сведениям о силовых показателях. Она позволяет детально изучать взаимодействие атлета с опорой и распределение нагрузок на опорно-двигательный аппарат, преобразуя механическую энергию в электрические сигналы, что определяет ее высокую значимость для научно-методического обеспечения подготовки гимнастов высокого класса.

Основной стратегической целью данного научного исследования является комплексное обоснование результативности использования тензометрических технологий в практике подготовки спортсменов. Они необходимы для объективного мониторинга силовых параметров двигательной активности, выявления резервов производительности и последующей оптимизации всего тренировочного процесса в дисциплинах спортивной и художественной гимнастики. Внедрение данных методов позволяет перейти от интуитивного планирования нагрузок к управлению, основанному на достоверных цифровых данных.

В рамках проведения комплексного аналитического исследования была детально изучена применимость тензометрических систем для фиксации динамических параметров в специфических условиях гимнастической практики. В спортивной гимнастике чувствительные датчики

встраиваются непосредственно в поверхность снарядов, таких как брусья, перекладина или опорный мостик, без нарушения их функциональных свойств. Это позволяет фиксировать силу реакции опоры, продолжительность фаз контакта и степень деформации инвентаря во время акробатики и соскоков с высокой частотой дискретизации. В художественной гимнастике задействуются тензоплатформы вместе с сенсорными стельками, что дает возможность анализировать распределение подошвенного давления, траекторию центра масс и силу отталкивания при исполнении равновесий и прыжков. Обработка массивов данных производится через специализированный софт, визуализирующий временные и амплитудные параметры импульсов в виде графиков и тепловых карт, что облегчает восприятие информации тренером.

Использование тензометрии дает возможность численно оценить вектор и величину толчка, симметричность приземления, а также уровень ударного воздействия на суставы ног и позвоночный столб. Это помогает обнаруживать латентные технические погрешности и асимметрию стереотипов движения, которые не видны невооруженным глазом. В спортивной гимнастике информация применяется для отладки опорных прыжков и снижения травматизма за счет коррекции угла постановки рук. В художественной – для оценки высоты полета и амортизации, что критично для сохранения эстетики и здоровья. Кроме того, контроль полезен в реабилитации для дозирования нагрузок при возвращении после травм, обеспечивая безопасность спортсмена. Совмещение с видеосъемкой и инерционными сенсорами создает комплексную биомеханическую картину, позволяя синхронизировать силовые данные с кинематикой движения.

Таким образом, тензометрия является высокоинформативным средством объективного биомеханического контроля, обеспечивающим регистрацию силовых данных с высоким разрешением и минимальной погрешностью. Внедрение этих технологий в подготовку атлетов ведет к улучшению техники, персонализации нагрузок, росту стабильности выступлений и продлению спортивного долголетия. Будущее направления связано с уменьшением габаритов сенсоров, подключением искусственного интеллекта для автоанализа паттернов движения, разработкой адаптивных тренажеров с биоуправлением, а также созданием облачных баз данных для сравнения показателей спортсменов разных уровней подготовки.

УДК 796.912

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ФИГУРНОГО КАТАНИЯ

Студент гр. 11904122 Гулевич О. Н.

Ст. преподаватель Самохвал П. М.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современная система подготовки в фигурном катании характеризуется ранней специализацией спортсменов и высокой плотностью соревновательного календаря, что требует оптимизации тренировочного процесса. Особую сложность представляет освоение техники вращений и сложных отклонений корпуса, требующих высокого уровня вестибулярной устойчивости, координационных способностей и пространственного контроля. Традиционные методы неморальной подготовки часто не обеспечивают достаточной биомеханической адекватности движений, выполняемых на льду, либо сопряжены с повышенным риском травматизма при отработке элементов на твердой поверхности. Внедрение специализированных технических средств, позволяющих моделировать биомеханику вращений и наклонов в безопасных условиях, является актуальной задачей научно-методического обеспечения спорта (рис. 1).

Цель данной работы разработка конструкции тренажера для совершенствования техники вращений и отклонений фигуристов, обеспечивающего биомеханическую достоверность движений, вариативность нагрузок и объективный контроль параметров выполнения упражнений.

Конструкция тренажера представляет собой кинематическую систему с неподвижным каркасом-основанием и вращающейся платформой, установленной на упорном шариковом подшипнике. Вращение вокруг вертикальной оси инициируется ротационными движениями плечевого пояса спортсмена, что соответствует закономерностям сохранения углового момента в фигурном катании. Для моделирования отклонений корпуса, аналогичных наклонам на ребро конька, в систему введен упругий элемент (цилиндрическая пружина сжатия в защитной гофре), обеспечивающий дозированное смещение платформы относительно вертикальной оси. Управление

нагрузкой осуществляется посредством электромагнитного тормозного устройства, регулируемого через электронный блок управления. Система мониторинга включает датчик наклона для регистрации угловых отклонений платформы и положения центра масс спортсмена.



Рис. 1. Тренажер для фигурного катания

Биомеханический анализ подтвердил, что вращение за счет плечевого пояса формирует правильные двигательные стереотипы, переносимые на лед. Упругий элемент имитирует динамику наклонов, тренируя мышцы-стабилизаторы и вестибулярный аппарат через постоянную коррекцию равновесия. Электромагнитный тормоз позволяет разделять режимы статики и динамики, обеспечивая плавную прогрессию нагрузок и безопасность, снижая риск травм. Интеграция датчиков наклона обеспечивает объективный контроль данных для индивидуализации заданий и оперативной коррекции техники. Противоскользящее покрытие минимизирует риски, делая тренажер безопасным для юных спортсменов. Комплексное воздействие на координацию и мышечную систему ускоряет освоение сложных элементов и повышает стабильность исполнения.

Тренажер является эффективным и безопасным средством внеледовой подготовки, сочетая биомеханический контроль и цифровой мониторинг. Его внедрение повышает качество обучения, снижает травматизм на этапах подготовки и расширяет методическое сопровождение.

УДК 615.825.6

ТРЕНАЖЕР ЛАТЕРАЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Студент гр. 11904122 Жарикова Е. В.

Ст. преподаватель Самохвал П. М.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

На современном этапе эволюции спортивной медицины и геронтологической науки приоритетным вектором становится реставрация функционального потенциала локомоторной системы, а также превентивные меры по предотвращению травматизма. Особую значимость в структуре физической подготовки и реабилитационных программ приобретает формирование боковой устойчивости корпуса. Стабильность тела во фронтальной плоскости выступает фундаментальным условием для удержания равновесия, обеспечения координации движений и минимизации вероятности падений. Дефицит латерального контроля нередко выявляется у атлетов в восстановительный период после повреждений нижних конечностей (травмы коленного и голеностопного суставов, нарушения целостности связочного аппарата). При недостаточной глубине реабилитации это создает предпосылки для рецидивов и снижения спортивных результатов. Параллельно с этим, в геронтологической практике ослабление мышц-стабилизаторов и угасание проприоцептивной чувствительности признаются ключевыми детерминантами бытового травматизма и переломов у людей пожилого возраста. Существующие на рынке тренажерные устройства зачастую не предоставляют возможности для изолированной нагрузки на стабилизационные мышцы в латеральной плоскости, что обуславливает острую необходимость в проектировании специализированного оборудования.

Целеполагание данного исследования сосредоточено на разработке конструктивной схемы и научном обосновании кинематики тренажера латеральной стабилизации. Устройство предназначено для комплексной реабилитации спортсменов и лиц старшей возрастной группы, обеспечивая точное дозирование нагрузок и телеметрический контроль параметров движения.

В рамках изыскательской работы был проведен детальный анализ биомеханических требований, предъявляемых к упражнениям на стабилизацию туловища и тазового пояса. Проектируемый тренажер реализует оригинальную кинематическую архитектуру, базирующуюся на подвижной платформе сиденья, которая перемещается во фронтальной плоскости по направляющим рельсам. Система создания сопротивления может быть реализована в механическом исполнении (грузоблочная система) или с применением электромагнитных технологий, что гарантирует высокую точность дозировки усилия и амплитуды траектории в соответствии с функциональным статусом пользователя. Конструкция дополнена регулируемыми упорами для фиксации стоп и механизмом адаптации высоты сиденья, что позволяет учитывать индивидуальные антропометрические данные. Эргономичная спинка и элементы фиксации обеспечивают надежную стабилизацию туловища, нивелируя осевую компрессию на позвоночный столб. Интегрированная электронная консоль осуществляет мониторинг ключевых параметров тренировочного процесса (длительность, амплитуда смещения, прикладываемое усилие), предоставляя объективные данные для контроля реабилитационной динамики.

Анализ функциональных возможностей конструкции демонстрирует, что устройство обеспечивает адресную активацию среднего и большого ягодичных мышц, приводящих и отводящих мышечных групп бедра, косых мышц абдоминальной зоны и глубоких стабилизаторов кора. Для спортсменов аппарат моделирует специфические игровые ситуации, требующие оперативной стабилизации корпуса при боковых смещениях центра масс, что повышает эффективность двигательных актов и снижает риск повторного травматизма на этапах функциональной подготовки. Для лиц пожилого возраста тренажер эксплуатируется в щадящем режиме с принципом прогрессии нагрузок. Систематические занятия способствуют улучшению показателей статического и динамического равновесия, укреплению мышечного корсета и повышению уверенности при ходьбе, что имеет критическое значение для профилактики падений. Использование встроенной электроники позволяет реализовать принцип биологической обратной связи, повышая мотивацию пользователей и безопасность занятий.

Разработка и интеграция тренажера латеральной стабилизации представляет собой перспективное междисциплинарное направление, синтезирующее задачи спортивной реабилитации и геронтологической поддержки. Конструктивное решение устройства обеспечивает безопасное и эффективное воздействие на нейромышечный аппарат, содействуя восстановлению функциональных возможностей организма. Применение данного комплекса в составе программ восстановления позволяет повысить качество жизни атлетов и лиц пожилого возраста, обеспечить надежную профилактику травматизма и поддержание активного долголетия.

УДК 796. 078

СПОРТИВНОЕ СПОНСОРСТВО В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Студент гр. 11902123 Казловский В. М.

Кандидат экон. наук, доцент Карнейчик В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Современное общество сталкивается с необходимостью поиска устойчивых механизмов финансовой поддержки социально значимых сфер в том числе сферы физической культуры, спорта. В Республике Беларусь активно развивается массовый, любительский и профессиональный спорт, который требует дополнительных источников финансирования. В мировой практике спортивное спонсорство рассматривается как эффективный инструмент маркетинга, как сделка, направленная на получение коммерческой выгоды. В связи с этим, существуют четкие разграничения понятий спонсорства и меценатства. Меценатство – вид добровольной безвозмездной помощи деятелям культуры, культурным учреждениям и акциям со стороны богатых и влиятельных покровителей. Спонсорство – это, как правило, деятельность юридических лиц, основанная (при отсутствии посредника) на соглашении между организаторами события или деятельности, с одной стороны, и коммерческой компанией – с другой [1].

В белорусском законодательстве термин меценатство не нашел применения, используется понятие пожертвование, так как само спонсорство рассматривается как безвозмездная помощь. Спонсорство определяется как передача, предоставление юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями (ИП) Республики Беларусь денежных средств, имущества, работ, услуг юридическим лицам и ИП на строго определенные цели [2].

Все вопросы по данной проблеме регулируются комплексом нормативных правовых актов, охватывающих вопросы предоставления безвозмездной помощи, оформления договорных отношений, налоговых льгот и целевого использования средств. В табл. 1 представлены ключевые документы и их положения.

В законодательстве введены ограничения для организаций на оказания спонсорской помощи. Например, спонсором не могут выступать организации 50 % акций, которых принадлежит государству. Кроме того, четко прописаны цели оказания спонсорской помощи: создание и укрепление материально-технической базы, пропаганда ЗОЖ, проведение соревнований и др. Коммерческие организации могут предоставлять спонсорскую помощь только на определенные законом цели. Поддержка профессионального спорта со стороны законодательства не несет экономического смысла [2].

Таблица 1 – Основные нормативные акты

Документ	Краткое содержание
Указ Президента № 300 от 01.07.2005 (в ред. от 30.09.2024)	Устанавливает порядок предоставления и использования безвозмездной (спонсорской) помощи. Определяет формы помощи, круг участников, требования к оформлению и отчетности
Указ Президента № 112 от 30.09.2024	Вводит обновленную редакцию Указа № 300. Расширяет формы помощи: теперь она может предоставляться в виде электронных денег, токенов, имущественных прав, включая права на интеллектуальную собственность
Гражданский кодекс РБ (ст. 543, 553)	Регламентирует договор дарения и пожертвования. Пожертвование – это дарение в общественно полезных целях, с целевым назначением и ограниченным кругом получателей
Налоговый кодекс РБ (ст. 181)	Устанавливает налоговые льготы при оказании спонсорской помощи. Освобождение от налога на прибыль возможно при соблюдении условий: помощь должна быть целевой, предоставляться определенным категориям организаций и на конкретные цели

К факторам, способствующими развитию спонсорства в Республике Беларусь можно отнести: наличие нормативной базы; признание цифровых форм помощи; государственная поддержка социально значимых проектов; рост социальной ответственности бизнеса; активизация гражданских инициатив. Спонсорство в Республике Беларусь обладает значительным потенциалом для развития спорта и других социально значимых сфер, однако для его реализации необходимо преодолеть бюрократические барьеры, расширить круг получателей, сформировать устойчивую культуру гражданского участия и обеспечить баланс между нормативной поддержкой и институциональной гибкостью [3].

Литература

1. Стрекалова, А. А. Благотворительность, меценатство и спонсорство как особый вид социальной помощи / А. А. Стрекалова // Journal of new economy. – 2012. – № 6 (44). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blagotvoritelnost-metsenatstvo-i-sponsorstvo-kak-osobyi-vid-sotsialnoy-pomoschi> (дата обращения: 14.03.2026).
2. О безвозмездной (спонсорской) помощи: Указ Президента Респ. Беларусь, 1 июня 2005 г., № 300 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Формы поддержки культуры: патронаж, меценатство, спонсорство, благотворительность // Allbest.ru. – URL: https://otherreferats.allbest.ru/sociology/00462394_0.html (дата обращения: 01.11.2025).

УДК 621

ДАТЧИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В АВТОСПОРТЕ

Студент гр. 11902123 Казловский В. М.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Автоспорт очень динамичный и опасный вид спорта, поэтому необходимо проводить постоянный и точный контроль за множеством параметров, таких как:

1. Динамические параметры. Скорость и ускорение спортивного болида – параметр, который легко может повлиять на исход гонки. Скорость и ускорение измеряют с помощью инерциальных датчиков.

2. Термические параметры. Температура охлаждающей жидкости – важнейший параметр, от состояния которого может зависеть не только результат гонки, но и жизнь пилота спортивного болида. Важно всегда следить за температурой, если она будет сильно превышать норму, могут выйти из строя многие компоненты, которые в свою очередь могут привести к аварии и возгоранию болида, что повлечет за собой угрозу жизни пилота.

3. Гидравлические параметры. Давление масла, топлива – настолько же важный параметр, как и температура, от состояния которого зависит стабильность работы агрегатов. Высокое давление масла может затруднить циркуляцию и охлаждение, что может привести к перегреву двигателя.

В данной работе был проведен обзор и анализ измерения физических величин и параметров. В качестве примера будут приведены некоторые датчики и принцип их работы.

1. Для измерения такого параметра как ускорение используют акселерометр – это датчик, который измеряет ускорение, действующее на автомобиль, то есть изменение скорости или направления движения. Принцип работы основан на законе инерции, когда инерционная масса (обычно это маленький грузик или маятник) смещается в направлении ускорения, а затем это смещение преобразуется в электрический сигнал. Этот сигнал позволяет определить силу и направление ускорения автомобиля.

2. Для измерения температуры охлаждающей жидкости используют специальный датчик, он, как правило, представляет собой термистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от температуры. Когда температура охлаждающей жидкости повышается, сопротивление термистора уменьшается, и, наоборот, при понижении температуры сопротивление увеличивается.

Измерение одних и тех же параметров может отличаться друг от друга в зависимости от конфигурации и типа спортивного болида. В более поздние года все болиды использовали классические аналоговые приборы, которые преобразуют измеряемые физические величины в механическое отклонение стрелки или маятника на шкале. К примеру, механический тахометр работает за счет передачи вращательного движения от двигателя посредством гибкого металлического кабеля. Современные тахометры измеряют частоту вращения механизма (например, двигателя) посредством преобразования импульсов тока в цифровые сигналы и отображает их на дисплее. В их основе лежит датчик, фиксирующий частоту вращения, и электронная схема, которая обрабатывает эту информацию. Из плюсов в аналоговых приборах можно выделить простоту и надежность. Цифровые же приборы позволяют получить доступ к большему количеству информации, которые будут более точными и быстродействующими.

В работе так же была разработана функциональная схема работы электронного спидометра, было приведено подробное описание схемы, включающее преобразование измеряемой величины в электрический сигнал, используемый спидометром. Был рассмотрен принцип действия спидометра в статическом и в динамическом режимах, так же были проанализированы источники методических и инструментальных погрешностей схемы.

В заключение данной работы был сделан вывод, подтверждающий актуальность и значимость применения современных датчиков в автоспорте. Результаты работы демонстрируют, что интеграция более точных и современных датчиков положительно влияет на безопасность и динамику спортивного автомобиля.

УДК 315

ИЗМЕРЕНИЕ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА ПРИ УДАРЕ КЛЮШКОЙ ПО ШАЙБЕ

Студент гр. 11902123 Коцур В. И.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современный хоккей характеризуется высокой динамикой, скоростью и интенсивностью; предъявляет повышенные требования к физической и тактической подготовке спортсменов, технической оснащенности команд. Технические инновации проникли во все аспекты игры и помогают оценить нам ряд таких параметров как физические, физиологические, тактические, технические и психологические. К физическим параметрам мы относим: скорость, ускорение, выносливость, сила удара. Оценить скорость и ускорение мы можем с помощью акселерометров. Для оценки выносливости используются пульсометры и пульсоксиметры, а для измерения силы удара динамометры.

К физиологическим параметрам относятся: гибкость, подвижность суставов, композиция тела, уровень гидратации. Определить эти параметры мы можем с помощью гониометров, калиперов, биосенсоров.

В группу технических параметров входят точность передач и бросков, техника катания, владение шайбой, игра в обороне. К тактическим параметрам мы относим процент владения шайбой, зонный контроль, количество бросков по воротам, силовую борьбу. Данные параметры фиксируются с помощью системы GPS и RFID.

Импульс – это произведение массы тела на его скорость. Соответственно, чем больший импульс получит шайба, тем быстрее она полетит к цели. Для измерения импульса в хоккее используются следующие системы: GPS, RFID, радарные пушки, система видеонаблюдения, система умной шайбы.

Система GPS – это система навигации, она состоит из GPS-приемника, датчика IMU, микроконтроллера и компьютера.

Система RFID – это система радиочастотной идентификации, состоит из двух основных компонентов: RFID –тегов и считывателей RFID [1].

Радарная пушка – это портативное устройство, которое использует эффект Доплера для измерения скорости движущихся объектов.

Для измерения импульса, передаваемого клюшкой шайбе, может быть использована система видеонаблюдения. Данная система состоит из высокоскоростных камер.

Система умной шайбы – это технологичное решение, предназначенное для сбора данных о движении шайбы во время хоккейного матча. Система состоит из датчиков, схемы усиления, микроконтроллера и передатчика [2].

Импульс – это величина, которую мы не можем получить напрямую, только косвенно.

В ходе работы был проведен обзор параметров и средств измерения в хоккее. Были рассмотрены системы, применяемые для измерения ударного импульса: принцип их действия, преимущества и недостатки.

Литература

1. RFID: все о технологии радиочастотной идентификации // Навигационные решения: сайт. – URL: <https://nvgn.ru/blog/rfid-vse-o-technologii-radiochastotnoy-identifikacii/> (дата обращения: 05.05.2025).
2. Умные клюшки и датчики. Новые технологии в хоккее // BelarusHockey.com: сайт. – URL: https://belarushockey.com/hockey_and_life/articles/umnye-kljushki-i-datchiki.-novye-tehnologii-v-hokkee/ (дата обращения: 05.05.2025).

УДК 796.028

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕДВИЖНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СТАНЦИИ НА 8 КАМЕР

Студент гр. 11902123 Новикова И. Д.

Преподаватель Катибникова В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Актуальность выполнения данной работы связана с сохраняющимся высоким спросом на проведение прямых телевизионных трансляций в реальном времени, несмотря на общую тенденцию роста популярности заранее записанного контента в средствах массовой информации [1]. Особенно востребованы прямые эфиры в сфере освещения спортивных событий и новостных репортажей. Организация подобных трансляций с удаленных площадок требует сложного технического обеспечения, способного гарантировать бесперебойную передачу сигнала высокого качества [5]. Таким образом, анализ технических возможностей и проектирование современных мобильных студий, или передвижных телевизионных станций, является своевременной и необходимой задачей для повышения стандартов профессионального телевизионного вещания.

Основной целью работы является разработка проекта мобильной передвижной телевизионной станции (ПТС), рассчитанной на одновременную работу с восемью видеокамерами [7]. Для достижения этой цели в процессе работы были последовательно решены следующие задачи: изучение общих принципов построения и основных систем, входящих в состав ПТС [4, 5]; подбор конкретных моделей оборудования, необходимого для создания работоспособного комплекса;

а также всестороннее обоснование выбора данного оборудования на основе сравнительного анализа технических характеристик и функциональных возможностей.

Передвижная телевизионная станция представляет собой автономный мобильный комплекс, по своей сути являющийся полноценной телевизионной студией, размещенной на автомобильном шасси [2]. Этот комплекс предназначен для производства, записи и передачи телевизионных программ непосредственно с мест проведения событий. Конструктивно ПТС классифицируются в зависимости от масштаба производства и количества задействованных камер: для небольших съемок используются микроавтобусы, для средних – полноразмерные грузовые автомобили, а для крупнейших мероприятий – трейлеры с раздвижными конструкциями для увеличения внутреннего рабочего пространства [3]. В состав типовой станции входит широкий спектр оборудования: телевизионные камеры с системами камерных каналов, устройства обработки видеосигнала, такое как видеомикшеры и матричные коммутаторы, профессиональное звуковое оборудование, системы синхронизации, служебной связи и автономного электропитания [6]. При проектировании ПТС использовалось следующее оборудование: камера Sony HDC-1500RD, объектив Fujinon 88xPF, видеомagneтафон SONY F-1600 XDCAM HD, мониторы Sony OLED BVM-E и Penta PDP-24W, сервер видеоповторов EVS LSM X T3, звуковой матричный коммутатор Studer D21, звуковой пульт Studer Vista 9, видеомикшер Snell Kahuna 360 2 ME, матричный коммутатор Snell Sirius 830, накопитель Inscribe G5 XT, микрофон Sennheiser, сервер точного времени Alpermann+Velte, штатив Vinten Vector 750.

Принцип работы ПТС включает несколько ключевых этапов: прибытие и размещение на площадке, развертывание оборудования и подключение всех систем, обработка поступающих видео- и аудиосигналов режиссером и звукорежиссером, и, наконец, передача готовой программы в эфир или на запись [1]. Станция может функционировать как в режиме прямой трансляции, так и в режиме записи материала для последующего монтажа и вещания. На крупных мероприятиях возможна совместная работа нескольких ПТС как единого производственного комплекса [6].

В результате выполненной работы был разработан комплексный проект мобильной передвижной телевизионной станции на восемь камер. Подобранный комплект профессионального оборудования обеспечивает высокое качество видеосигнала, гибкость в управлении, надежность и способность работать в различных, в том числе сложных, внешних условиях. Данная ПТС может эффективно использоваться для освещения широкого круга событий: спортивных соревнований, концертов, общественно-политических мероприятий и новостных репортажей [1]. В перспективе развитие проекта может быть связано с внедрением стандартов сверхвысокой четкости 4K/UHD, более глубокой интеграцией IP-технологий для передачи сигналов и дальнейшей миниатюризацией аппаратных компонентов без потери их функциональности и качества.

Литература

1. ПТС – передвижная телевизионная станция. История, возможности, наши дни: [сайт]. – URL: <https://stream-park.ru/blog/peredvizhnaya-televizionnaya-stantsiya/> (дата обращения: 20.10.2025).
2. Передвижная телевизионная станция [сайт] // Википедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Передвижная_телевизионная_станция (дата обращения: 20.10.2025).
3. Информационное обеспечение систем управления спортивных объектов: [сайт]. – URL: https://vk.com/doc180089138_541351776?hash=664a108f0be5dc411d&dl=3e904d4933141be162 (дата обращения: 20.10.2025).
4. Информационное обеспечение систем управления спортивных объектов: [сайт]. – URL: https://vk.com/doc180089138_541351776?hash=664a108f0be5dc411d&dl=3e904d4933141be162 (дата обращения: 20.10.2025).
5. История передвижных телевизионных станций (ПТС): [сайт] // ГрузовикПресс. – URL: <http://www.gruzovikpress.ru/article/3481-istoriya-peredvijnyh-televizionnyh-stantsiy-pts-flagmany-televizionnogo-flota/> (дата обращения: 20.10.2025).
6. Хесин, А. Я. Передвижные телевизионные станции: учебное пособие для студентов-заочников / А. Я. Хесин; Министерство связи СССР, Всесоюзный заочный электротехнический институт связи, Кафедра радиовещания и телевидения. – Москва, 1965. – 116 с.
7. Технология построения ПТС: [сайт] – URL: <http://www.dnk.ru/events/185203/> (дата обращения: 25.10.2025).

УДК 315

ДАТЧИК РЕГИСТРАЦИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ СТВОРА ВОРОТ ФУТБОЛЬНЫМ МЯЧОМ

Студент гр. 11902123 Новикова И. Д.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Технологии, применяемые в современном спорте, значительно повышают точность оценки игровых моментов, особенно в таких ситуациях, как определение гола. Использование фотоэлектрических сенсоров рассматривается как наиболее рациональный и действенный метод фиксации пересечения мяча с линией ворот.

Прямолучевые фотоэлектрические датчики демонстрируют высокую чувствительность и стойкость к неблагоприятным факторам среды, что делает их особенно подходящими для спортивных объектов.

Этап разработки измерительной системы включает анализ вариантов конструкции сенсора, подбор места установки и подключение к управляющему модулю.

Анализированы технологии Hawk-Eye и GoalRef, а также приведены их сравнительные особенности в контексте точности и принципа действия. Были классифицированы фотоэлектрические датчики по типу действия (прямой, отраженный, рассеянный луч), проанализированы их плюсы и ограничения в реальных условиях. В дополнение к оптическим решениям проанализированы и магнитные сенсоры, включая устройства на основе эффекта Холла и феррозонды.

Принцип действия всей системы проанализирован в двух режимах: стационарном и динамическом, с акцентом на внешнем и внутреннем фотоэффектах. Отдельное внимание уделено важности коэффициента усиления, который компенсирует потери излучения при работе в запыленной или влажной среде.

Проведен детальный разбор возможных источников погрешностей в измерениях и способов их минимизации. Показано, как внешние условия (температура, вибрации, влажность) могут искажать результаты, и приведены меры по их нейтрализации. Рассмотрены характеристики приемников, в том числе их спектральная чувствительность и способность различать мелкие детали изображения. Подчеркнута важность освещенности и качества поверхности цели при настройке системы, особенно при использовании рассеянного излучения. Показана роль точного выравнивания датчиков и необходимости использования поляризационных фильтров при работе с блестящими объектами. Описаны технические детали монтажа: как прокладываются кабели, где располагаются датчики и каким образом они подключаются к центральному блоку.

Сделан вывод о высокой скорости реакции системы на пересечение мяча с линией ворот, что критически важно для спортивных соревнований. Надежность системы во многом обеспечивается качеством сборки и подбором подходящих компонентов на этапе проектирования. Фотоэлектрические системы контроля голов являются одновременно технологически эффективными и экономически обоснованными.

Применение автоматизированных датчиков способствует объективной оценке игрового процесса и более качественной спортивной подготовке. Подчеркнута универсальность описанной технологии – она может быть адаптирована под другие виды спорта и тренировочные процессы.

УДК 796. 078.339.

РЫНОК СПОРТИВНЫХ СОБЫТИЙ

Студент гр. 11902123 Новикова И. Д.

Кандидат экон. наук, доцент Карнейчик В. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Актуальность исследования рынка спортивных событий обусловлена превращением спорта из культурного явления в значимый сектор мировой экономики. Спортивные мероприятия, являясь центральным элементом индустрии, привлекают многомиллионную аудиторию и служат мощным катализатором инвестиций, что делает анализ данного рынка особенно важным для понимания современных экономических процессов [1].

Рынок спортивных событий представляет собой сложную систему экономических отношений, объединяющую коммерческие и некоммерческие инициативы вокруг спортивных соревнований [1]. Особенности исследуемого рынка являются: глобализация, высокая эмоциональная

привлекательность, сезонность, активное внедрение цифровых технологий, что требует применения гибких маркетинговых стратегий [2]. На нем взаимодействует широкий круг участников: от спортивных федераций, клубов и спортсменов до спонсоров, СМИ и маркетинговых агентств. Эффективность проведения мероприятий напрямую зависит от способности этих субъектов выстраивать взаимовыгодные отношения, превращая соревнование в конкурентоспособный рыночный продукт, решающий задачи как зрителей, так и партнеров [3].

Составляющими рынка выступают не только сами зрелищные услуги, но и спортивная инфраструктура: спортивные сооружения, мерчандайзинг, права на трансляции. Белорусский опыт проведения крупных соревнований, демонстрирует высокий организационный уровень, однако не всегда обеспечивает максимальную маркетинговую эффективность и окупаемость инвестиций [4].

В рамках изучения мирового опыта, были выявлены основные факторы коммерческого успеха подобных мероприятий. Так, финансовая модель Английской премьер-лиги основывается на продаже телевизионных прав, спонсорских контрактах и продуманном распределении доходов, позволяет ей оставаться самой прибыльной футбольной лигой в мире.

Анализ белорусского рынка спортивных событий, на примере Чемпионата мира по хоккею 2014 года, показал возможности страны в организации мероприятий мирового уровня. Детально разобранный комплекс мер, от безвизового въезда и подготовки волонтеров до создания талисмана и фирменного стиля, позволил не только достичь рекордной посещаемости, но и получить положительный экономический эффект, укрепив имидж Беларуси на мировой арене.

Сравнительная характеристика позволила выявить, что несмотря на разницу в масштабах, рынки спортивных событий в мире и Беларуси развиваются под влиянием общих глобальных трендов: коммерциализации, повышения требований к качеству спортивных продуктов и поиска новых способов взаимодействия с болельщиками. Белорусский опыт демонстрирует способность эффективно использовать свои возможности проведения международных соревнований для развития инфраструктуры и популяризации спорта, что является важным фактором социально-экономического развития.

Успешное функционирование рынка спортивных событий требует превращения обычных соревнований в качественный маркетинговый продукт, ориентированный на потребности всех участников. Спортсмены, становясь образцами для подражания, усиливают коммерческий потенциал индустрии, подтверждая, что спорт является не только зрелищем, но и эффективной площадкой для бизнеса и продвижения социальных ценностей [4].

Литература

1. Стрекалова, А. А. Благотворительность, меценатство и спонсорство как особый вид социальной помощи / А. А. Стрекалова // Journal of new economy. – 2012. – № 6 (44). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/blagotvoritelnost-metsenatstvo-i-sponsorstvo-kak-osobyiy-vid-sotsialnoy-pomoschi> (дата обращения: 14.03.2026).
2. О безвозмездной (спонсорской) помощи: Указ Президента Респ. Беларусь, 1 июня 2005 г., № 300 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 10.02.2026).
3. Формы поддержки культуры: патронаж, меценатство, спонсорство, благотворительность // Allbest.ru. – URL: https://otherreferats.allbest.ru/sociology/00462394_0.html (дата обращения: 01.11.2025).

УДК 796.028

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА В МКСК «МИНСК-АРЕНА»

Студент гр. 11902122 Павленко А. В.

Ст. преподаватель Барановская Д. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В наши дни всевозможные мероприятия делового характера являются необходимой частью ведения успешного бизнеса. Наверное, нет такого человека, который бы не знал, насколько важны семинары, встречи и конференции в развитии бизнеса. Именно на семинарах и конференциях, можно познакомиться с новыми деловыми партнерами, чтобы обсудить важные вопросы, новые идеи, получить нужные советы от деловых партнеров и спикеров. Кроме того, на конференциях можно найти инвесторов, которые захотят инвестировать свои деньги в ваши бизнес-проекты.

При выборе оптимального решения по модернизации систем основное внимание следует уделить такому критерию как – «эффективность – стоимость». Данный критерий позволяет обеспечить максимальную эффективность при заданных затратах.

Конференц-система – это комплекс оборудования, предназначенного для проведения конференций, презентаций, совещаний, концертных и торжественных мероприятий.

Существующая система технического оснащения конференц-зала в МКСК «Минск-арена» подразделяется на видео и аудио оборудование.

В видео систему входят:

- проигрыватели;
- видеоусилители-распределители композитных видео сигналов;
- видеомониторы;
- масштабатор видео и графики;
- проектор;
- натяжной экран на раме.

В аудио систему входят:

- микшерские пульта;
- подаватели обратной акустической связи;
- усилители мощности;
- ручной передатчик беспроводной микрофонной системы;
- центральный блок управления конференц-системой;
- прессбокс активный.

При модернизации конференц-зала были выбраны основные производители аудио и видео оборудования опираясь на качество и технические характеристики были выбраны следующие фирмы: Kramer, Yamaha, AKG, JBL, Gonsin, CROWN, Panasonic, Neutrik, Elite Screens.

Например, был заменен DVD проигрыватель Tascam DV-D01U на Tascam BD-MP4k. Новая модель проигрывателя поддерживает большее количество видео и аудио файлов таких как: 3GP, ASF, AVI, DAT, M2TS, MKV, WMV, MOV, MP4, MPG, OGM, TP, TS. Тем самым новый проигрыватель стал более универсальным и более прост в эксплуатации.

Еще важным фактором при замене проигрывателя стало повышение его максимального и минимального разрешения с 144p/480p до 480p/2160p, что значительно повлияло на качество воспроизведения.

Литература

1. Барановская, Д. И. Информационное обеспечение систем управления спортивных объектов / Д. И. Барановская, М. А. Петух, М. М. Салтанов. – Мн.: БНТУ, 2019. – 185 с.
2. 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. – Мн.: БНТУ, 2018. – 192 с.

УДК 796.022

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НАГРУЗКИ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ СПОРТИВНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Студент 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

Возрастающий уровень конкуренции в различных видах спорта вынуждает тренеров совершенствовать методики тренировок, искать новые технические средства для повышения спортивных результатов, тем самым посылая запрос исследователям и разработчикам технических устройств и технологий на их совершенствование и разработку новых. Параллельно интенсивно расширяется использование технических устройств при занятиях физической культурой, для реабилитации спортсменов, а также, при проведении лечебных занятий.

Задача технических средств для тренировки спортсмена сводится, в конечном счете, к одному – они должны создавать максимально полную имитацию варьируемых нагрузок, аналогичных возникающим в ходе спортивных тренировок и состязаний.

Опыт эксплуатации показывает, что в классических тренажерах с механическими системами нагрузки [2] инерционные силы искажают показатели сопротивления, особенно при высоких скоростях, то есть данные тренажеры могут использоваться должным образом только при низкоскоростных простых движениях, при этом нагрузку в таких тренажерах невозможно регулировать плавно и без остановки тренировочных занятий [1].

В то же время биомеханика движений спортсмена во многих видах спорта, например, в единоборствах, имеет свою специфику, которая заключается в том, что в процессе единоборства постоянно возникают быстротечные изменения векторов скоростей и величин усилий. Это формирует требования к разработчикам тренировочных устройств максимально приблизить логаритм «сопротивления» нагрузочного узла устройства к подобию реально возникающих при выполнении атакующих действий виду.

Для решения этих проблем все шире применяются в качестве нагрузочных устройств гидродвигатели возвратно-поступательного и вращательного действия [3, 4].

Существуют также спортивные тренажеры, в которых в качестве нагрузочных устройств применяются гидравлические системы с использованием в качестве рабочей жидкости коллоидных растворов ферромагнетиков, способных изменять под воздействием магнитного поля некоторые свои свойства, в частности вязкость [4]. На сохранение положительных качеств гидравлических нагрузочных узлов спортивных тренажеров и устранение их конструктивных и эксплуатационных недостатков, уменьшающих эффективность их применения, и была направлена наша работа.

За основу для разработки борцовского тренажера с гидравлической системой повышенной эффективности была взята конструкция борцовского тренажера с гидравлическим нагрузочным узлом возвратно-поступательного действия [3].

Разработана конструкция тренажера (рис. 1), использующего усовершенствованный способ регулирования нагрузки, которая позволяет плавно и без остановки тренировочного процесса регулировать нагрузку на тяге 6 (рис. 1). Изменена конструкция поршня 12 гидроцилиндра, а именно, поршень 12 совместно со штоком 7 снабжен дистанционно управляемым перепускным механизмом, который позволяет регулировать в широких пределах количество перетекающей жидкости или газа из верхней камеры гидроцилиндра 11 в нижнюю и обратно. Величина сопротивления на тяге 6 как раз и зависит от плавно регулируемой пропускной способности перепускного механизма. Такое регулирование пропускной способности перетекания осуществляется при помощи микропроцессорного узла управления 14 по вводимой тренером компьютерной программе без остановки тренировочного процесса, что важно для повышения эффективности тренировки.

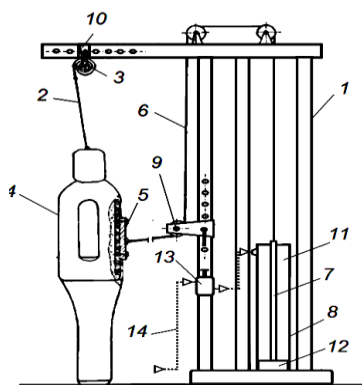


Рис. 1. Борцовский тренажер

Перемещение поршня в исходное положение также программируется и осуществляется после каждого выполняемого активного действия при помощи возвратного механизма.

При использовании борцовского тренажера предлагаемой конструкции с встроенным микропроцессорным управлением узла перетекания достигается повышение эффективности использования тренажера, плавности регулирования нагрузки и, как следствие, повышение интенсивности тренировочного процесса.

Литература

1. Петров, Н. Я. Характеристика и методы воспитания физических качеств в процессе самоподготовки студентов / Н. Я. Петров. – Мн.: БГУИР, 2009. – 209 с.

2. Патент ВУ 58 У, МПК А63В 69/00. Борцовский тренажер: № 19990058: заявл. 00.00.1999: опубл. 30.12.1999 / Закерничный В. И., Павлович А. Э., Соколов В. А. – 3 с.

3. Патент ВУ 12112, МПК А63В 69/00. Борцовский тренажер: № а20190000: заявл. 00.00.2019: опубл. 21.02.2019 / Закерничный В. И., Павлович А. Э. – 5 с.

4. Патент ВУ 13734, МПК А63В 69/00. Борцовский тренажер: № а20250000: заявл. 00.00.2025: опубл. 15.05.2025 / Закерничный В. И., Мурзинков В. Н., Павлович А. Э. – 6 с.

УДК 796.028

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОСТАНОВОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНЦЕРТНОГО МЕРОПРИЯТИЯ НА 4000 ЗРИТЕЛЕЙ

Студент гр. 11902123 Полулех К. В.

Преподаватель Катибникова В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Постановочное освещение – это комплексный процесс создания светового оформления сценического пространства, применяемый в театральных постановках, кинофильмах, телевизионных программах, концертных и других зрелищных мероприятиях. Оно включает выбор и размещение осветительных приборов, их настройку, а также управление светом в процессе представления или съемочного процесса [1].

Система постановочного освещения представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов – осветительных приборов, источников питания, крепежных конструкций, кабельных линий, а также систем управления и автоматизации. Все эти компоненты обеспечивают требуемые параметры освещенности, цветовой температуры и направленности световых потоков [1]. Современные постановочные системы активно используют цифровые технологии управления освещением. Компьютерные пульты и программные комплексы позволяют моделировать световую схему заранее, программировать переходы, синхронизировать освещение с музыкой, движением декораций или видеоэффектами. Все чаще применяются светодиодные (LED) приборы, отличающиеся низким энергопотреблением, долговечностью и широкими возможностями цветовой коррекции.

Особое внимание уделяется требованиям безопасности. При проектировании системы постановочного освещения в соответствии с требованиями нормативных документов обеспечиваются электробезопасность, пожарная безопасность, механическая надежность креплений и соответствие нормам освещенности и эвакуации, что направлено на создание безопасной и устойчивой к эксплуатационным нагрузкам светотехнической среды. В контексте повышения энергоэффективности, снижения тепловыделения и минимизации рисков возгорания данные требования обуславливают целесообразность применения светодиодных источников света как современного и технологически обоснованного решения в системах сценического освещения.

Светодиодные источники характеризуются высокой светоотдачей, низким энергопотреблением, повышенной надежностью и минимальным тепловыделением. Важным параметром для таких приборов является угол рассеивания светового потока, измеряемый в градусах. Данный показатель особенно значим для приборов точечного освещения, предназначенных для формирования направленного светового пучка без общего заливного эффекта [4].

Целью работы является проектирование системы постановочного освещения для концертного мероприятия на 4000 человек. Были разработаны схема расположения оборудования и схема подключения световых приборов, а также выполнен расчет потребления энергоресурсов системы. Для реализации курсового проекта было подобрано оборудование: подвешиваемая вращающаяся голова – CLAY PAKY Sharpy Wash, подвешиваемая вращающаяся голова – Robe spat 1200, светодиодный прожектор – ROBIN 600 LEDWash, прожектор следящего света (световая пушка) – CHAUVET Follow Spot 1200. Подключение постановочного освещения наиболее эффективно в расположении на рисунке 1.

Проектирование системы постановочного освещения включает анализ исходных данных, выбор осветительных приборов, разработку электрических и структурных схем, а также расчет энергопотребления. Расчеты показали, что суммарная потребляемая мощность световых приборов составляет 19,94 кВт.

Спроектированная система освещения соответствует нормативным требованиям по уровню и равномерности освещенности, показателям ослепленности и качеству световой среды. Принятые технические решения основаны на светотехнических расчетах с учетом геометрии объекта и условий эксплуатации.

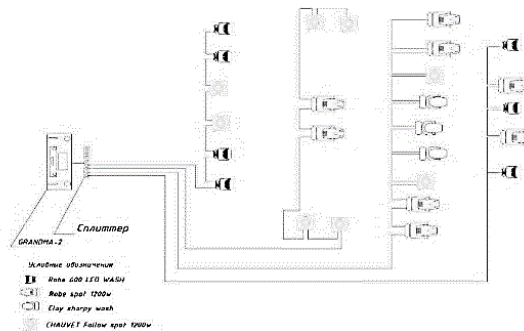


Рис. 1. Структурная схема подключения постановочного освещения

Использование энергоэффективных прожекторов и вращающихся световых голов обеспечивает рациональное распределение светового потока, возможность гибкой настройки освещения и снижение энергопотребления. Таким образом, система является технически обоснованной, экономически целесообразной и эффективной в эксплуатации. Дальнейшее развитие проекта может включать модернизацию оборудования и программного обеспечения, а также оптимизацию энергопотребления и снижение затрат на эксплуатацию.

Литература

1. Постановочное освещение сцены // Cinsound.ru. – URL: https://cinsound.ru/stage_lighting/ (дата обращения: 19.10.2025).
2. Типы оборудования для освещения мероприятий // GM-Light.ru. – URL: <https://gm-light.ru/articles/svyetovoye-oformlyeniye-prazdnikov-i-myelopriyatiy/> (дата обращения: 19.10.2025).
3. Консоль grandMA2 // Soundlive.by. – URL: <https://soundlive.by/product/ma-lighting-grandma2-light/> (дата обращения: 22.11.2025).
4. Светоизлучающие диоды (LED): характеристики и преимущества // iSvetodiod.ru. – URL: <https://isvetodiod.ru/svetoizluchayushhie-diody-ili-led-harakteristiki-i-preimushhestva/> (дата обращения: 19.10.2025).

УДК 796. 078.339

СПОРТИВНОЕ СПОНСОРСТВО КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОДВИЖЕНИЯ БРЕНДА

Студент гр. 11902123 Сайко А. В.

Ст. преподаватель Барановская Д. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В условиях высокой конкуренции на рынке, организации постоянно находятся в поиске новых эффективных способов привлечения целевой аудитории, стремятся закрепить бренд своей компании в общественном сознании. Спортивная индустрия является востребованной площадкой для реализации спонсорства в силу своей популярности, разнообразия и доступности.

В развитых странах доля этого вида экономической деятельности в ВВП достигает до 3 %, что говорит о значительной коммерциализации этой сферы деятельности. Этот показатель растет с увеличением дохода на душу населения, поэтому можно ожидать увеличения экономического вклада спортивной индустрии в будущем [1]. К основным источникам доходов в мировой индустрии спорта относятся (рисунок 1) [2].

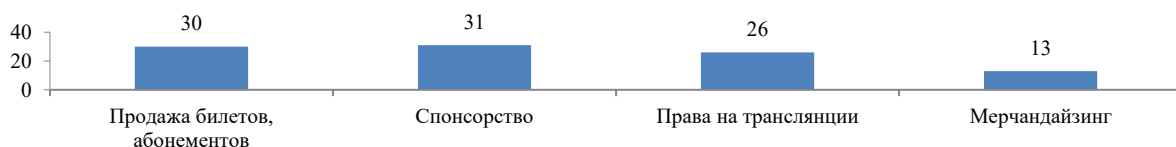


Рис. 1. Источники доходов в мировой индустрии спорта, в процентах [2]

Отмечается стремительный рост доходов мировой индустрии спорта, в том числе за счет расширения медийной аудитории, что делает спортивную сферу весьма привлекательной для спонсоров. В связи с этим, при грамотном использовании, спортивное спонсорство позволяет создавать конкурентные преимущества для достижения устойчивого роста компании на рынке. Уникальность спонсорства в спорте заключается в создании мощного эмоционального воздействия на людей разных культур, наций, социальной принадлежности, возраста, пола. Восприятие бренда связано с присутствием большого набора эмоций от тревожности до радости победы, т. е. формируется положительная эмоциональная связь, которая позволяет повысить лояльность к бренду и создать коммуникативные связи с потребителем.

Происходит формирование общих принятых ценностей. Бренд компании спонсора начинает представляться как общественное благо, ассоциируясь с базовыми культурными ценностями: здоровье, командный дух, активный образ жизни. В целом, происходит улучшение имиджа организации на местном и национальном уровнях.

К неспецифическим преимуществам спортивного спонсорства можно отнести: улучшение имиджа бренда, освещение деятельности организации в средствах массовой информации, повышение узнаваемости компании потенциальными инвесторами, укрепление позиции на рынке; привлечение новых работников и клиентов; увеличение осведомленности о продукте. Спонсорство охватывает спорт на разных его уровнях: от поддержки отдельных спортсменов и команд до мероприятий мирового масштаба. Отмечается гарантированный длительный контакт с целевой аудиторией.

Вышеперечисленные преимущества спортивного спонсорства подтверждены проводимыми исследованиями, которые свидетельствуют о том, что высокомотивированные потребители не способны противостоять эмоциям, связанных с брендом, и отдают предпочтения товарам, уступающим в качестве аналогичным.

Сложность спортивного спонсорства заключается в особом подходе к планированию и анализу, учету большого количества факторов, влияющих на его эффективность (популярные тренды, меняющиеся предпочтения, соответствие бренда ценностям и самой организации, риски и др.).

Спортивное спонсорство является эффективным средством продвижения, позволяя повысить узнаваемость компании и создать устойчивые связи с потребителями, путем укрепления их доверия и лояльности.

Литература

1. Канкина, А. В. Спонсорство как элемент интегрированных коммуникаций / А. В. Канкина, А. С. Бочкарева // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2016. – № 7. – С. 105–115.
2. Леднев, В. Обострение конкуренции в процессе коммерциализации индустрии спорта / В. Леднев // Современная конкуренция. – 2021. – Т. 15, № 4 (84). – С. 40–49.

УДК 796.028

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СУДЕЙСКИХ МЕСТ ДЛЯ ФУТБОЛЬНОГО СТАДИОНА

Студент гр. 11902123 Сайко А. В.

Преподаватель Катибникова В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Техническое оснащение судейских мест представляет из себя совокупность камер для видеофиксации, дополнительного оборудования к ним (датчики и другое) и специализированного ПО. Для оснащения проводятся мероприятия по выбору всех нужных комплектующих. Исходя из цели проекта, заключающейся в оснащении футбольного стадиона технической составляющей, нами проведем сравнительный анализ наиболее распространенных систем судейства.

1. VAR (Video Assistant Referee) – система видеопомощи арбитрам, используемая для повышения точности судейства и решения спорных моментов путем видеоповтора этапа игры. В системе используется от 12 камер высокого разрешения для съемки игровых моментов.

2. Hawk Eye – высокотехнологичная система для отслеживания всех моментов игры, начиная от спорных моментов и заканчивая любыми, даже самыми минимальными нарушениями. В системе используется от 10 камер, подобранных и сделанных под каждый объект в индивидуальном порядке. Совместно с камерами, производится установка на объект всей системы, включая

полный комплект универсального программного обеспечения и вспомогательного оборудования, датчиков и так далее [1].

3. Система контроля GOALControl – профильная система видеопомощи судьям. В системе используется от 14 специализированных камер, основная задача которых определение было ли осуществлено пересечение мячом линии ворот и незамедлительное уведомление об результате судей в режиме онлайн.

Проведя сравнительный анализ, нами определено, что система Hawk Eye имеет наиболее подходящие характеристики для реализации проекта. Также система используется не только для проведения соревновательных процессов, но и в концертных и тренировочных мероприятиях. При размещении системы также было подобрано дополнительное оборудование. Пульты для лучшего обеспечения эксплуатации световых и звуковых систем стадиона во время крупных мероприятий, экраны для более наглядного изображения в операторской итоговой транслируемой картинки и также датчики для увеличения точности работы системы и дополнительной фиксации различных характеристик [2]. В следствии сравнения различных типов камер окончательный выбор для системы был сделан в сторону Sony HXR-NX800, схожей по функциональному исполнению и параметрам и аналогичной оригинальной камере Hawk Eye.



Рис. 1. Внешний вид камеры Sony HXR-NX800

Преимущества данной системы заключаются в ее высокой точности, многофункциональности и эргономичности. Также система имеет широкие возможности дальнейшей модернизации с помощью систем искусственного интеллекта и еще большей автоматизации всех процессов.

Литература

1. Hawk-Eye // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Hawk-Eye> (дата обращения: 14.10.2025).
2. Шишин, Р. А. Проектирование стационарной системы «Видеогол» для сооружения крытый каток «Юность-Минск» / Р. А. Шишин, Д. И. Барановская. – 2024. – 56 с.

УДК 681

КОНТРОЛЬ КАСАНИЯ МЯЧА ЗА ПРЕДЕЛАМИ ИГРОВОЙ ЗОНЫ В ВОЛЕЙБОЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Студент гр. 11902123 Сайко А. В.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В данной работе был проведен сравнительный анализ методов контроля касания мяча за игровой зоной, таких как:

1. Визуальное наблюдение судей – один из самых доступных и популярных методов.
2. Система повторов VAR – современная система, однако из-за своей ограниченности и времени задержки не возымела большого распространения в волейболе.
3. Технология отслеживания мяча – это система Hawk Eye Live, самая лучшая в своей сфере система, однако имеет высокие затраты для эксплуатации.
4. Электронные линии – неплохое решение для отслеживания, однако весьма ограничено в применении и имеет ряд существенных минусов в сравнении с остальными пунктами.
5. Система датчиков – практичное решение в случае некоторых площадок, однако также не является универсальным решением для большинства полей.
6. Анализ данных – весьма специфический метод, основанный на опыте предыдущих игр и сложившейся ситуации; также имеет свои ограничения и отрицательные моменты.

Лучшей системой из всех вышеперечисленных является система Hawk Eye Live благодаря сочетанию большинства плюсов различных способов измерения контроля касания мяча за пределами игровой зоны, имея из недостатков лишь сложность установки и эксплуатации, а также повышенные финансовые затраты для корректного функционирования и систематического обновления программного обеспечения (ПО) для улучшения ее работы.

Плюсами данной системы является как полный контроль за мячом и в целом за ситуацией на поле, так и визуализация в 3-D повтора касания мяча на игровом поле или за его пределами. Помимо основных функциональных возможностей система может показывать повтор по запросу игроков, озвучивать попадание или промах по игровой зоне без помощи человека, является практически полностью автоматизированной и постоянно совершенствуется при помощи новейших технологических возможностей, например, добавление искусственного интеллекта в ПО и усовершенствование со стороны быстродействия и реагирования системы на различные факторы, такие как плохая освещенность, различные блики, тени и др.

В данной работе также произведен анализ погрешностей системы. Погрешности, которые были рассчитаны в данной работе: погрешность скорости съемки камеры, погрешность скорости задержки кадров, погрешность по передаче скорости по сети онлайн, погрешность точности съемки. Несмотря на то, что все погрешности являются практически незаметными для невооруженного человеческого глаза, они все же присутствуют, но при каждом обновлении системы уменьшаются кратно.

Также проведен анализ функционального построения схем данной системы. Сделано обобщенное описание строения камеры в целом (рис. 1) и ее отдельных компонентов. Произведен цельный обзор различных функций данной технологии. Из-за коммерческой тайны технология Hawk Eye Live находится под строжайшим секретом, но информации из открытых источников достаточно для наглядного рассмотрения системы.

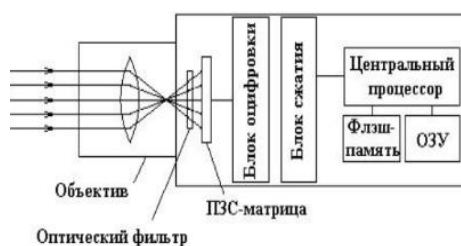


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема видеокамеры

В заключение данной работы сделан вывод о роли новых технологий в отношении системы в сегодняшнем быстроменяющемся мире, также произведен анализ и варианты возможных улучшений для удешевления и большего распространения системы.

УДК 796.028

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С БИОМЕТРИЕЙ ДЛЯ ЗОНЫ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В АДМИНИСТРАТИВНОМ ЗДАНИИ СПОРТКОМПЛЕКСА

Студент гр. 11902123 Сманцер М. Ю.

Преподаватель Катибникова В. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Процесс развития спортивной инфраструктуры в Республике Беларусь неразрывно связан с повышением требований к безопасности объектов.

Для обеспечения безопасности в административных зданиях используются современные комплексы технических и программных средств: система видеонаблюдения (СВН), система контроля и управления доступом (СКУД) на биометрической основе [1].

Система видеонаблюдения (СВН) – это программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий сбор, архивирование и анализ видеoinформации для контроля событий, происходящих на объекте.

Система контроля и управления доступом (СКУД) – это аппаратно-программный комплекс, предназначенный для автоматизации процесса управления, регистрации и ограничения доступа посещения людей и транспортных средств на территорию и в помещение на основе предъявленных идентификаторов.

Интегрированная система видеонаблюдения и биометрического доступа построена по трехуровневому принципу: периферийный (IP-камеры, биометрические терминалы), транспортный (сетевое оборудование) и уровень управления (NVR, ПО VMS, сервер СКУД). Для выбора компонентов проведен сравнительный анализ продукции Hikvision, Dahua, Axis Communications, Suprema, ZKTeco, AxhonSoft и других производителей по критериям: разрешение, точность идентификации, функциональность, надежность, соответствие стандартам и стоимость [2–4].

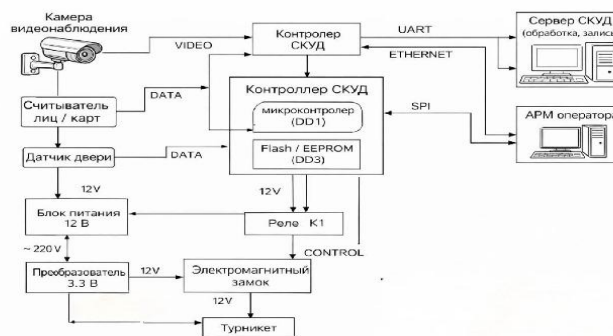


Рис. 1. Функциональная схема интегрированной системы видеонаблюдения и биометрического доступа

На основе технических требований и в соответствии нормам Республики Беларусь, выбрана следующая конфигурация: 1) камеры видеонаблюдения: купольные IP-камеры Hikvision DS-2CD2347G2-LU (4 Мп) с технологиями ColorVu и AcuSense для работы при низкой освещенности и интеллектуальной детекции [3]; 2) биометрический контроль доступа: терминал распознавания лиц Hikvision DS-K1T671MF-IZ/X с алгоритмом глубокого обучения и защитой от спуфинга ($FAR \leq 0,001\%$) [3]; 3) обработка и хранение видео: гибридный сетевой видеорежистратор Hikvision DS-7716NI-M4/16P (16 каналов, встроенные PoE-порты), обеспечивающий хранение архива не менее 30 суток; 4) программное обеспечение: платформа Axhon Next VMS, обеспечивающая централизованное управление, расширенную аналитику и глубокую интеграцию с СКУД через открытые API [4]; 5) сетевая инфраструктура: неуправляемый PoE-коммутатор TP-Link TL-SG1016PE для питания и передачи данных, кабельная система Cat.6; 6) электропитание: онлайн-ИБП APC Smart-UPS SRT 1000VA для защиты критического оборудования от сбоев в сети.

Данная конфигурация обеспечивает высокую степень безопасности за счет четкой круглосуточной видеоналитики, точной биометрической идентификации с защитой от фальсификации, стабильного архивирования данных, централизованного управления и резервированного электропитания.

Интеграция СВН и СКУД может быть реализована на нескольких уровнях, от низкого до высокого [5].

1. Аппаратная интеграция (низкий уровень): биометрический терминал и камера видеонаблюдения на точке прохода физически связаны. При попытке доступа камера делает снимок или начинает запись короткого клипа, который привязывается к событию в журнале СКУД. Это простое, но ограниченное решение.

2. Программная интеграция через API (средний уровень): системы VMS и СКУД работают независимо, но обмениваются данными через программные интерфейсы (API).

Это наиболее распространенный и гибкий вариант, позволяющий использовать лучшее в своем классе оборудование от разных производителей.

3. Глубокая интеграция на уровне общей базы данных и ядра (высокий уровень): единая программная платформа, где модули видеонаблюдения и биометрии используют общую базу пользователей, общее ядро событий и единый интерфейс управления. Это наиболее эффективное, но и наиболее дорогое и сложное в реализации решение.

Разработанный проект интегрированной системы видеонаблюдения и биометрического контроля доступа обеспечивает комплексную безопасность и отвечает современным требованиям к защите административных зданий.

Литература

1. О персональных данных: Закон Респ. Беларусь, 7 мая 2021 г., № 99-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H12100099> (дата обращения: 15.03.2026).
2. СТБ 31.1.02-2016. Системы видеонаблюдения аналоговые и сетевые. Общие технические требования. – Введ. 01.07.2017. – Минск: БелГИСС, 2016. – 24 с.
3. Hikvision: [site]. – URL: <https://www.hikvision.com> (date of access: 12.01.2026).
4. Axxon Next VMS: Administrator's Guide. – Moscow: AxxonSoft LLC, 2023. – 204 p.
5. Белов, А. В. Современные системы видеонаблюдения: учебное пособие / А. В. Белов, С. Н. Петров. – СПб.: Лань, 2020. – 320 с.

УДК 796.02+ 615.825

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ МЫШЦ ЖИВОТА С АНАТОМИЧЕСКИМ ПОВТОРЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ СПИНЫ

Студент гр. 11904123 Турлай М. А.

Кандидат пед. наук, доцент Солонец А. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Актуальность и необходимость разработки оборудования для тренировки мышц живота, в частности прямой мышцы живота, заключается в востребованности изолированной тренировки мышц, а также в неспособности существующих технических решений обеспечить безопасное выполнение упражнения. При работе на наклонной скамье и серийных тренажерах, провоцируется включение сгибателей бедра и подвздошно-поясничной мышцы [1, 2]. Это приводит к снижению эффективности тренировки и созданию сдвигающей нагрузки на сегменты поясничного отдела позвоночника. Систематическое воздействие такой нагрузки приводит к развитию и прогрессированию дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночного столба, таких как остеохондроз, протрузии и грыжи межпозвоночных дисков [1, 2]. Решением избежать травматизма и улучшить эффективность тренировочного процесса является создание тренажера с адаптивной сегментированной панелью, где осуществляется поддержка позвоночника по всей его длине, последовательно скручивая его отделы. Пользователи тренажера делятся на следующие группы: лица, нуждающиеся в медицинской реабилитации и спортивном восстановлении, спортсмены отдельных видов спорта, пользователей фитнес-клубов, акцентирующих свое внимание на безопасность и технику.

Лицам, нуждающимся в медицинской реабилитации и спортивном восстановлении, создается условие, при котором панель обеспечивает безопасное выполнение скручивания, дозируя нагрузку на мышцы кора в период восстановления после операций, а также при наличии хронических дегенеративно-дистрофических заболеваниях позвоночного столба. Разгрузка позвоночника во время скручивания позволяет укрепить мышечный корсет, исключая риски усугубления существующих патологий.

Спортсмены специализированных видов спорта, у которых мощное и быстрое скручивание туловища является ключевым элементом техники, например, в спортивной и художественной гимнастике, акробатике, прыжках в воду, борьбе, могут эффективно развивать специфическую силу и выносливость прямой мышцы живота, исключая нагрузку на поясничный отдел.

Посетители фитнес-клубов, которые акцентируют свое внимание на безопасность и технику выполнения упражнения, входят в третью группу. В сфере фитнес-индустрии тренажер позиционируется как оборудование, ориентированное на высокие стандарты безопасности и индивидуальный подход. Он идеально подходит для новичков, которым необходимо сформировать нейромышечную связь, тем самым освоив технику изолированного сокращения мышц пресса. Кроме того, он подходит для пользователей, стремящихся минимизировать риски травмировать позвоночник, а также для лиц, для которых профилактика здоровья спины является приоритетом.

Тренажер является решением, адресованным конкретным категориям пользователей, потребности которых заключаются в безопасной и эффективной тренировке мышц пресса. Он позволяет осуществить это без риска травмировать позвоночник, что определяет его высокую практическую значимость и инновационный потенциал в области спортивной инженерии, реабилитации и фитнеса.

Литература

1. Капанджи, А. И. Позвоночник: Физиология суставов / А. И. Капанджи. – М.: Эксмо, 2009. – 344 с.
2. Иваницкий, М. Ф. Анатомия человека: учебник для институтов физической культуры / М. Ф. Иваницкий. – М.: Терра-Спорт, 2003. – 624 с.

УДК 796.02+ 615.825

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ МЫШЦ ЖИВОТА С АНАТОМИЧЕСКИМ ПОВТОРЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ СПИНЫ ПРИ ПОМОЩИ СЕГМЕНТИРОВАННОЙ ПАНЕЛИ

Студент группы 11904123 Турлай М. А.

Кандидат пед. наук, доцент Солонец А. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Конструктивной основой тренажера является адаптивная сегментированная панель, полностью удовлетворяющая требования концепции изолированной тренировки мышц. Панель поддерживает спину во время выполнения упражнения, снимая компрессионную нагрузку на межпозвоночные диски, а также предотвращая компенсаторное включение подвздошно-поясничной мышцы, вследствие чего разгружается поясничный отдел позвоночника [1].

Схема тренажера (рис. 1) включает в себя: несущую раму 1, электромагнитный привод с барабаном для троса 2, сегментированную адаптивную панель 3, подушку для бедер и ягодиц 4 и валики для фиксации нижних конечностей 5.

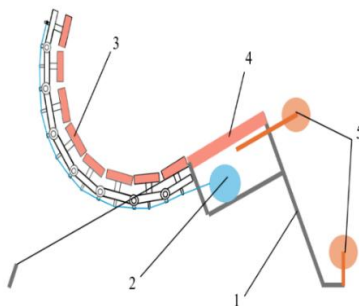


Рис. 1. Схема тренажера с сегментированной панелью

Принцип работы тренажера заключается в том, что пользователь преодолевает усилие, создаваемое электромагнитным приводом, которое через трос передается на сегментированную панель. Зафиксировавшись мягким ремнем на уровне грудного отдела, тренирующийся, из положения лежа, сокращая поперечную мышцу живота, выполняет скручивание, тем самым последовательно сгибая панель. Конструкция точно повторяет округление спины, что обеспечивает поддержку позвоночника по всей его длине. Когда усилие мышцы ослабевает, конструкция возвращается в исходное положение.

Особенностью тренажера является возможность регулирования количества съемных сегментов, настраивая тем самым длину всей панели, что позволяет пользователю адаптировать ее под свою индивидуальную антропометрию. Эта особенность обеспечивает точное соответствие опорной поверхности длине позвоночника для максимально корректной поддержки, независимо от роста занимающегося.

Литература

1. Капанджи, А. И. Позвоночник: Физиология суставов / А. И. Капанджи. – М.: Эксмо, 2009. – 344 с.

УДК 796.02

ПРИМЕНЕНИЕ НОСИМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОМ ПРОЦЕССЕ

Магистрант гр. 25мзс1 Федорова С. А.

Кандидат пед. наук Махинова М. В.

Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма,
Краснодар, Россия

История носимых технологий начинается с простых устройств, предназначенных для отслеживания физической активности. Первые примеры применения подобных устройств относят к середине XX века, когда в 1960-х годах ученые начали разрабатывать устройства для мониторинга сердечного ритма. Эти устройства использовались в основном в медицинских целях и были громоздкими и дорогими, что ограничивало их доступность для широкой аудитории. С началом 21 века началась новая ветвь развития носимых технологий. Так в нулевых годах на рынке появились первые фитнес-трекеры. Одним из первых массовых устройств стал «Fitbit», выпущенный в 2009 году [1]. С развитием технологий, таких как Bluetooth и GPS, носимые устройства стали более точными и функциональными. Современные фитнес-трекеры и смарт-часы могут отслеживать не только шаги и сердечный ритм, но и уровень кислорода в крови, качество сна, уровень стресса и многое другое. Интеграция с мобильными приложениями позволяет пользователям анализировать свои данные, устанавливать цели и получать рекомендации по улучшению здоровья.

Современные носимые устройства предлагают множество функций для отслеживания физической активности, такие как: отслеживание шагов, измерение пройденного расстояния, подсчет сожженных калорий, мониторинг сердечного ритма, контроль за качеством сна, специальные режимы тренировок.

Носимые технологии позволяют адаптировать методы тренировок под особенности каждого вида спорта. Так, например, носимые устройства активно применяются в циклических и игровых видах спорта. В легкой атлетике такие устройства применяют для анализа техники бега, оценки пульса и контроля за темпом. Это помогает избежать перетренированности и повышать выносливость [5]. В плавании специальные водонепроницаемые трекеры фиксируют количество заплывов, время и скорость, а также анализируют технику плавания [1]. Велосипедисты используют датчики мощности и скорости для анализа своих показателей во время тренировок, что позволяет им оптимизировать свои усилия [1]. В таких видах спорта, как футбол или баскетбол, носимые устройства помогают отслеживать физическую нагрузку игроков в реальном времени, что позволяет тренерам принимать решения о замене игроков и адаптации тактики игры.

В будущем носимые устройства будут оснащены более точными и чувствительными датчиками, способными отслеживать широкий спектр физиологических показателей, таких как уровень кислорода в крови, кислотно-щелочной баланс и даже метаболизм в реальном времени [5]. Они смогут взаимодействовать с окружающей средой (например, с тренажерами или спортивными площадками), что позволит собирать данные о тренировочном процессе и автоматически адаптировать его в зависимости от условий. Важным инструментом в учебно-тренировочном процессе становится виртуальная и дополненная реальность (VR), позволяя спортсменам моделировать игровые ситуации и улучшать тактические навыки без физической нагрузки [3].

В целом, перспективы носимых технологий в спорте обещают быть не только инновационным, но и трансформирующим. Эти технологии способны изменить не только то, как мы тренируемся и соревнуемся, но и то, как мы понимаем сам процесс достижения спортивных результатов [4].

Литература

1. Белентьев, С. А. Использование технологий и гаджетов для мониторинга физической активности и их влияние на результаты тренировок / С. А. Белентьев // Вестник науки. – 2024. – № 6 (75). – С. 2012–2022.
2. Фитнес-трекеры на уроках физической культуры: примеры и перспективы / Ф. Х. Закиров, А. А. Красильников, Е. А. Лубышев // Московский экономический журнал. – 2020. – № 4. – С. 584–591.
3. Актуальность цифровых технологий в сфере физической культуры и спорта / А. Муштай, Н. И. Синявский, Т. А. Елисеева // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2025. – № 1. – С. 49–54.
4. Дурдыева, Г. Системы биометрического мониторинга в спорте: влияние на здоровье и производительность / Г. Дурдыева, Р. Дурдыев // Наука и мировоззрение. – 2025. – № 42. – С. 56–62.
5. Частоедова, А. Ю. Цифровые технологии и их востребованность в фитнес-индустрии / А. Ю. Частоедова, Л. А. Якимова // Актуальные вопросы дополнительного профессионального образования в сфере физической культуры и спорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Краснодар, 2025 г. – Краснодар: Экоинвест, 2025. – С. 345–348.

УДК 681

НОСИМЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОВ

Студент гр. 11904123 Федосенко Е. Р.

Ст. преподаватель Ломтев А. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современный спорт предъявляет высокие требования к точности контроля за физическим состоянием спортсменов. В этих условиях носимые устройства, оснащенные первичными измерительными преобразователями (ПИП), становятся незаменимым инструментом мониторинга физиологических и биомеханических параметров в реальном времени. Данная работа направлена на анализ типов носимых устройств, применяемых в легкой атлетике, принципов их действия, а также особенностей проектирования функциональной схемы ПИП. Наиболее востребованные параметры для измерения в спорте включают частоту сердечных сокращений (ЧСС), уровень кислорода в крови (SpO_2), температуру тела, ускорение, ориентацию, координаты, шаги, фазы бега и биомеханику движений. Для каждого параметра используются соответствующие ПИП – от фотоплетизмографов (PPG) и терморезисторов до MEMS-акселерометров и гироскопов.

Типы носимых устройств можно классифицировать по способу размещения и функциональности. Смарт-часы обеспечивают базовый мониторинг физиологических параметров, но имеют ограниченную точность. Грудные сенсоры обеспечивают высокоточное измерение ЭКГ и ЧСС. Интеллектуальная одежда интегрирует сенсоры в текстиль и позволяет фиксировать данные без помех при движении. Умная обувь с датчиками давления и инерциальными измерительными модулями (IMU) обеспечивает уникальную информацию о биомеханике шагов.

Особое внимание в работе уделено акселерометру как ключевому ПИП для оценки ускорения и движения. В динамическом режиме акселерометр регистрирует бег, прыжки, приземления, оценивает технику и симметрию движений. В статическом режиме возможна оценка позы и ориентации спортсмена.

Разработана функциональная схема ПИП, включающая сенсорный элемент, усилитель, фильтр, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и модуль передачи данных (SPI/I2C). Рассмотрены ключевые аспекты проектирования – фильтрация шумов, температурная компенсация, масштабирование, калибровка.

Таблица 1 – Сравнительный анализ устройств

Устройство	Основные параметры	Преимущества
Смарт-часы	ЧСС, шаги, GPS	Компактность, интеграция
Грудные сенсоры	ЭКГ, дыхание	Высокая точность
Интеллектуальная одежда	ЧСС, температура, движение	Комфорт, непрерывность данных
Умная обувь	Давление, шаг, вибрации	Точная биомеханика, профилактика травм

Важную часть работы составил анализ погрешностей. Методические (ориентация устройства, температурный дрейф) и инструментальные (смещение нуля, квантование, шумы) ошибки могут существенно искажать результаты. Для минимизации погрешностей предложены калибровка в условиях тренировок, программная фильтрация и адаптация под конкретные особенности спортсмена.

Таким образом, применение ПИП в составе носимых систем открывает широкие возможности для точного и объективного контроля за техникой, физическим состоянием и уровнем усталости спортсмена. Это не только снижает риск травм, но и оптимизирует тренировочный процесс. Перспективы дальнейших исследований – в разработке многофункциональных сенсорных платформ с ИИ-обработкой и мультисенсорной интеграцией данных.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ВИДЕОГОЛ» ДЛЯ ЛЕДОВОЙ АРЕНЫ

Студент гр. 11902122 Червяков В. А.

Ст. преподаватель Барановская Д. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Требования к проведению хоккейных матчей предусматривают использование технических средств, позволяющих минимизировать влияние человеческого фактора на судейские решения. Система «Видеогол» является обязательным элементом ледовых арен, претендующих на проведение различных официальных соревнований. Благодаря использованию камер высокой четкости и специализированного программного обеспечения, система позволяет фиксировать момент взятия ворот с разных ракурсов и с высокой точностью. Применение данной технологии способствует исключению субъективных ошибок судей, повышает справедливость принимаемых решений и улучшает качество проведения хоккейных матчей. На протяжении последних десяти лет системы «Видеогол» активно применяются в различных лигах, таких как Континентальная (КХЛ), Всероссийская (ВХЛ), Молодежная (МХЛ) и Женская (ЖХЛ) лиги.

Согласно техническому регламенту КХЛ Система «Видеогол» должна состоять из одного или нескольких серверов, имеющих возможность получения не менее чем по 16 входным каналам видеозображения с комплекта не менее чем 15 видеокамер. Технический регламент ВХЛ предусматривает применение не менее 11 видеокамер. В МХЛ система «Видеогол» включает в себя четыре видеокамеры – по две на каждые ворота. Вместе с тем на объекте Государственного учреждения (ГУ) «Хоккейный клуб (ХК) Юность-Минск» система «Видеогол» в настоящее время отсутствует, что осложняет объективную фиксацию спорных моментов во время матчей, особенно в рамках детско-юношеских соревнований и тренировочного процесса. В связи с этим создание и внедрение подобной системы позволит вывести организацию спортивных мероприятий на новый уровень, повысить качество судейства и обеспечить соответствие современным международным требованиям [1–3]. Расположение панорамной камеры индивидуально для каждого спортивного сооружения.

Ледовая арена ГУ «Хоккейный клуб «Юность-Минск»» активно используется для проведения тренировочного процесса, а также матчей различного уровня, включая детско-юношеские турниры. Однако на объекте отсутствует система «Видеогол», что осложняет объективную фиксацию спорных моментов во время матчей. Создание и внедрение такой системы позволит вывести организацию спортивных мероприятий на новый уровень, повысить качество судейства и соответствовать современным международным требованиям. Результаты проведенного анализа показали, что выбор одной из готовых систем для ледовой арены ГУ «ХК Юность-Минск» является нецелесообразным. Это обусловлено тем, что каждое из рассмотренных решений имеет определенные ограничения, которые не позволяют в полной мере учесть специфику объекта, текущие потребности и бюджетные возможности организации. Были рассмотрены часто применяемые системы «Спортикс Видеогол Стандарт» (ориентированная на базовую фиксацию с использованием 2–6 камер), «Форвард Рефери» (профессиональный комплекс с поддержкой до 17 каналов, соответствующий требованиям КХЛ) и Slomo.tv videoReferee®-VHL2G (специализированное решение для Высшей хоккейной лиги с поддержкой 12 каналов и технологией синхронизации CloudyGenlock). Выполнен сравнительный анализ указанных решений. Проектируемая система «Видеогол» должна соответствовать техническим требованиям, в том числе и по количеству камер (рисунок 1) [1].

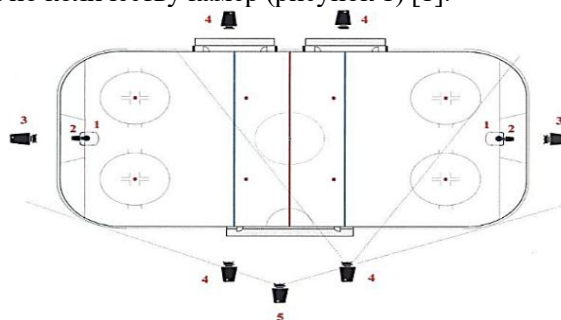


Рис. 1. Схема расположения и изображения с камер системы «Видеогол» [1]:

1 – камера над воротами; 2 – камера в воротах; 3 – камера за воротами; 4 – камеры на синих линиях;
5 – панорамная камера

На основании проведенного анализа для проектирования выбран компонентный подход, предполагающий самостоятельный подбор и интеграцию оборудования различных производителей в единую систему. В связи с этим, выполнено проектирование системы «Видеогол», предназначенной для предоставления судьям возможности пересмотреть спорный момент с разных ракурсов, используя изображения, поступающие с установленных вокруг площадки камер. Это позволяет определить факт пересечения шайбой линии ворот, наличие нарушений правил, а также правильность засчитывания или отмены забитого гола.

Литература

1. Технический регламент КХЛ // КХЛ: официальный сайт Континентальной хоккейной лиги. – URL: https://www.khl.ru/documents-/KHL_technical_regulations_2025_2.pdf (дата обращения: 19.01.2026).
2. Системы видеосудейства // ТелеВидеоДата. – URL: <https://televideodata.ru/hockey-judging/> (дата обращения: 06.03.2026).
3. Видеогол. Система видеосудейства и хронометража в хоккее // videogol.partner-progress.ru. – URL: <https://videogol.partner-progress.ru/2025/04/03/технический-регламент-видеогол-вхл-2024-2025/> (дата обращения: 22.02.2026).
4. Технический регламент МХЛ // МХЛ: официальный сайт Молодежной хоккейной лиги. – [Утв. Советом директоров ООО «КХЛ» 29.07.2025, с изм. от 05.09.2025]. – Минск, 2026. – 80 с.

УДК 796.028

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ СУДЕЙСТВА В ЛЫЖНЫХ ГОНКАХ И БИАТЛОНЕ В ЦЕНТРАХ ПО ЗИМНИМ ВИДАМ СПОРТА

Студент гр. 11902122 Шиманович А. В.

Ст. преподаватель Барановская Д. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цифровые технологии превращают биатлон в вид спорта, в котором анализ данных играет ведущую роль. Спортсмены, тренеры, зрители получают инструменты, позволяющие более точно анализировать результаты, повышать эффективность подготовки и объективность судейства.

В условиях ускоренного развития цифровых технологий возникает объективная необходимость модернизации традиционных методик судейства в Республиканском центре олимпийской подготовки по зимним видам спорта (РЦОП по ЗВС) «Раубичи», которые в настоящее время демонстрируют признаки технологического устаревания. Внедрение электронных систем хронометража (точность до $\pm 0,001$ с), технологий GPS-трекинга (погрешность позиционирования ± 10 см), автоматизированных комплексов видеоанализа (VAR с использованием ИИ-распознавания), систем контроля прохождения дистанции и электронных мишенных установок (точность регистрации до 0,1 мм) позволяет значительно снизить влияние субъективного человеческого фактора (снижение ошибок на 25–30 %), повысить оперативность принятия решений (сокращение времени анализа с 180 с до 15 с) и обеспечить соответствие международным стандартам Международной федерации лыжного спорта (FIS Photo Finish Protocol 2023) и Международного союза биатлонистов (IBU Electronic Target System ETS v.3.0).

Ключевые методологические преимущества внедрения цифровых технологий заключаются в следующем: 1) объективизация – переход от визуальной оценки к инструментальным измерениям; 2) квантификация – использование точных метрических показателей вместо качественных оценок; 3) стандартизация – применение унифицированных протоколов FIS/IBU; 4) верифицируемость – сохранение и возможность проверки данных при рассмотрении апелляций. Автоматизация работы огневых рубежей позволяет осуществлять детальный анализ действий спортсменов, включая время подготовки к выстрелу, длительность прицеливания и стабильность стрелковой позиции [1].

В настоящее время в РЦОП по ЗВС «Раубичи» используется электромеханическая система ES 2002 Kurvinen, основанная на механических пластинах с электронным подсчетом попаданий и промахов [2]. Несмотря на надежность и сертификацию IBU, данная система относится к оборудованию предыдущего поколения, характеризуется ограниченными возможностями автоматизации и требует ручного управления.

Модернизация предполагает переход к полностью электронным системам, что соответствует требованиям IBU по цифровизации стрельбищ. Кроме того, используемые терминалы KES относятся к оборудованию предыдущего поколения и обладают ограниченными функциональными возможностями по сравнению с современными биатлонными электронными системами.

В связи с тем, что в РЦОП по ЗВС «Раубичи» регулярно проводятся соревнования высокого уровня, требуется высокая точность фиксации результатов. Используемая камера фотофиниша ОРТс20 не всегда обеспечивает необходимую скорость съемки, разрешение изображения и возможности интеграции с современными системами судейства, что делает целесообразной ее замену на более современное оборудование. Кроме того, ряд других элементов системы судейства, включая хронометры, стартовые устройства, системы определения фальстарта, камеры фотофиниша, программные модули обработки протоколов, информационные табло и интерфейсы обмена данными, также нуждаются в модернизации для полного соответствия требованиям международных федераций и использования на соревнованиях различного уровня [3].

Таким образом, модернизация систем судейства на спортивных объектах обусловлена технологическим устареванием существующего оборудования, необходимостью повышения точности фиксации результатов, улучшением интеграции с современными информационными системами и соответствием международным требованиям проведения соревнований.

Литература

1. Новейшие цифровые технологии в биатлоне // GUS-G.com. – URL: <https://gus-g.com/noveyshiesifrovye-tehnologii-v-biatlone/?ysclid=mmf3p4bojx681094134> (дата обращения: 21.02.2026).
2. Мишени Kurvinen и оборудование для биатлона // DWG-спорт: официальный сайт компании. – URL: <https://www.dwg-sport.com/catalog/70/773/?ysclid=mmf5svr7bv845330768> (дата обращения: 21.02.2026).
3. Профессиональные системы судейства и хронометража для различных видов спорта // Sport-line.ru. – URL: <https://sport-line.ru/catalog/timing/> (дата обращения: 21.02.2026).

УДК 796.058 + 796.012.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОАНАЛИЗА ДЛЯ РАЗВИТИЯ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ У ФУТБОЛИСТОВ

Аспиранты Го Дацзин, Ли Чжунвэнь
Кандидат пед. наук, доцент Ковель С. Г.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

С наступлением цифровой эпохи в подготовку спортсменов было интегрировано множество новых продуктов. С развитием информационных технологий и искусственного интеллекта тренировки по футболу смещаются от тренировок, основанных на опыте тренера, к тренировкам, основанным на данных. Координационные способности, как комплексные способности спортсменов координировать и соподчинять технические и тактические движения в изменяющихся условиях, включают такие способности, как ритм, баланс, пространственная ориентация, комплексная реакция и кинестетическая дифференциация (Л. П. Матвеев, 2025). Традиционные тренировки в значительной степени опираются на опыт и не имеют объективных количественных стандартов, что затрудняет систематический мониторинг и улучшение координационных показателей. Развитие таких технологий, как видеоанализ создало условия для решения проблемы развития координационных способностей, позволяя фиксировать детали движений и предоставлять обратную связь об эффектах тренировок на основе объективных данных.

Цель работы – изучить современные возможности использования видеоанализа для развития координационных способностей в футболе.

Данные научной литературы показали, что анализ футбольных видео претерпел трансформацию от ручного воспроизведения видео к автоматическому анализу с использованием глубокого обучения. Системы реального времени, основанные на детекторе CSPDarknet53 и графовых сверточных сетях, могут точно определять взаимодействия игрока с футбольным мячом, генерировать расстояния между игроками и траектории передач, а также достигать точности обнаружения цели более 90 %. Пространственно-временные сверхточные модели, такие как I3D и TSN, захватывают долговременные временные характеристики для достижения классификации действий и обнаружения событий. Модели оценки позы, такие как OpenPose, HRNet и ST-GCN, расширены с 2D до 3D и сегодня могут количественно определять углы и скорости суставов

во время движения спортсмена. В литературе есть данные, что использование обратной связи видеосъемок в тренировках молодежи, значительно улучшает статические показатели контроля мяча и точность передач за счет своевременного воспроизведения и демонстрации решения тактических задач в тренировке. Оценка позы с помощью смартфона позволяет обычным тренирующимся получать обратную связь в реальном времени, а показатель точности передач у студентов колледжей увеличивался с 58,3 до 71,8 баллов. Некоторые авторы использовали видеоанализ для мониторинга воздействия на голову и определения риска удара по голове во время игры. Алгоритм DeepImpact может автоматически идентифицировать события, связанные с головой, и снизить затраты на ручную аннотацию.

Однако, существующая методика использования видеоанализа сталкивается с проблемами:

1. Недостаточного количества общедоступных наборов данных, что ограничивает обобщаемость и сопоставимость моделей.
2. Низкое разрешение и сложный фон в видеозаписях снижают точность оценки позы.
3. Видеоданные не могут отражать внутренние нагрузки, такие как частота сердечных сокращений и мышечная активность и др.

Для решения этих проблем академическое сообщество работает над созданием открытых баз данных, включая SoccerNet и LaLiga, над получением информации с разных ракурсов с использованием многокамерных систем и дронов, оптимизируя оценку позы посредством триангуляции и сверхразрешающей реконструкции, а также разрабатывается интерактивная платформа визуализации для наложения результатов видеоанализа на статистические показатели, чтобы помочь тренерам в принятии решений. Также многие авторы отмечают, что тренировочные задания футболистов должны включать когнитивные задачи, такие как ведение мяча во время выполнения простых вычислений или задач на память, чтобы стимулировать совместную активность структур мозга, обеспечивающих высшие когнитивные функции (префронтальной коры и гиппокампа) и улучшить способность к многозадачности.

Таким образом, несмотря на признанную ценность применения методов видеоанализа в футболе, научное поле остается открытым для исследований, нацеленных на разработку стандартизированных методик для условий ограниченных ресурсов и интеграцию видеоанализа с другими технологиями, такими как данные GPS-трекеров, в единую кибернетическую систему управления тренировочным процессом.

СЕКЦИЯ 7. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 006.91

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Магистрант гр. 7-06-0716-01 Асадчая Д. Ю.

Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Гамма-излучение – вид электромагнитного излучения, характеризующийся чрезвычайно малой длиной волны – менее $2 \cdot 10^{-10}$ м – и, вследствие этого, ярко выраженными корпускулярными и слабо выраженными волновыми свойствами. Гамма – излучение представляет собой поток фотонов, имеющих высокую энергию. Ионизирующая способность гамма- излучения низка. Проникающая способность – самая высокая. Гамма – излучение испускается при переходах между возбужденными состояниями атомных ядер, при ядерных реакциях, при взаимодействиях и распадах элементарных части, а также при отклонении энергетически заряженных частиц в магнитных и электромагнитных полях.

Современные тенденции развития приборостроения в области дозиметрии связаны с широким применением новых материалов для изготовления детекторов и регистрирующих устройств [1–3]. Это позволяет изготовителям производить высокоточное оборудование для измерения в полях гамма – излучения с более широким диапазоном измерений и объясняет тот факт, что количество приборов по измерению и воспроизведению дозовых характеристик ионизирующих излучений в Республике Беларусь составляет ориентировочно 20 000 единиц 170 разных типов средств измерений и установок и включает:

- установки промышленного и медицинского назначения (излучатели, ускорители, генераторы и так далее);
- индивидуальные дозиметры различного принципа действия;
- дозиметры и измерители мощности доз для терапии, контроля окружающей среды и защитной дозиметрии;
- системы и устройства радиационного контроля для измерения параметров излучения на Белорусской атомной электростанции и контроля ввоза ядерных и радиационных материалов и др.

Использование такого разнообразного по принципу действия, конструкции и назначению парка оборудования [4] требует обеспечить качественное метрологическое обслуживание средств измерений, радиационную безопасность и надежность в эксплуатации.

В настоящее время для этих целей используются комплексы оборудования, включающие поверочные установки дозиметрии гамма - излучения: УДГ-АТ130 и УДГА-РМ9100.

Дозиметрическая установка гамма-излучения УДГ-АТ130 предназначена для поверки, калибровки, градуировки и испытаний дозиметрической аппаратуры в широком диапазоне мощности дозы. Поле излучения установки формируется радионуклидными источниками в условиях типового коллимационного узла в соответствии с ГОСТ 8.087.2000. Установка основана на использовании радионуклидных источников ^{137}Cs , а также ^{60}Co , и ^{241}Am .

Установка дозиметрическая автоматизированная УДГА-РМ 9100 реализует схему облучения с одним неподвижным многопозиционным облучателем и системой линейного перемещения рабочего стола. Изменение значений дозиметрических величин, воспроизводимых в установке, достигается применением источников гамма – излучения различной активности и изменением расстояния между источником и детектором в интервале рабочих расстояний установки. Управление выбором источника в барабане облучателя, выводом выбранного источника в рабочее положение и позиционированием поверяемого прибора в пучке излучения установки осуществляется оператором дистанционно.

Установки предназначены для передачи рабочим и эталонным средствам измерений размеров единиц кермы в воздухе K_a , а также дозиметрических величин: экспозиционной дозы X ; поглощенной дозы в воздухе D ; амбиентного эквивалента дозы) $H^*(10)$; индивидуального эквивалента дозы $H(10)$ и их мощности.

Литература

1. Машкович, В. П. Защита от ионизирующих излучений / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – М.: Столица, 2013. – 494 с.

2. Ionizing radiation. Detectors. Including codes of practice / PTW-Freiburg. – 2017. – 95 p.
3. Nakashima, Y. Gamma-Ray Energy Spectra Observed around a Nuclear Reactor / Y. Nakashima, S. Minato, M. Kawano // Journal of Radiation Research. – 1971. – Vol. 12, № 4. – P. 138–147.
4. Реут, О. П. Поверка средств измерений ионизирующих излучений: учебное пособие / О. П. Реут, В. Л. Гуревич, С. А. Сорока [и др.]. – 2018. – URL: <http://www.bntu.by/> (дата обращения: 15.03.2026).

УДК 681

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Студент гр. 11305122 Важник А. С.

Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В современном промышленном производстве крутящий момент является одной из наиболее часто нормируемых и контролируемых механических величин. От возможности обеспечения установленных значений параметра, точности его последующего контроля, во многом зависят надежность, энергоэффективность и безопасность работы технически сложных конструкций и отдельных механизмов, а также диагностика промышленного оборудования. Для измерения крутящего момента используется широкий спектр средств измерений (СИ), которые классифицируются по различным признакам: принципу действия, функциональному назначению, способу установки на объекте и др.

В основе работы большинства СИ лежит преобразование деформации упругого элемента, возникающей под действием момента силы, в электрический сигнал. Наибольшее распространение в нашей стране получили тензорезисторные датчики. Однако существуют и другие типы измерительного оборудования, используемые в качестве эталонных или рабочих СИ, технические возможности которых отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация СИ по принципу действия и области применения

Тип СИ	Краткое описание принципа работы	Область применения/ точность
Рычажно-грузовые	Создание эталонного момента путем воздействия известной массы на плечо рычага заданной длины	Наивысшая точность, используются при поверке и калибровке (класс 0,01–0,1)
Тензорезисторные	Деформация упругого элемента измеряется тензорезисторами, включенными в мостовую схему	Основной тип рабочих СИ и рабочих эталонов. Диапазон от 0,1 сН·м до тысячи Н·м (класс 0,01–0,1)
Механические (с щелчковым механизмом)	Механическое зацепление собачка храпового механизма или подпружиненный шарик, который срабатывает (издавая щелчок) при достижении заданного момента	Контроль затяжки резьбовых соединений в авиации, машиностроении, автосервисах
Магнитоупругие	Изменение магнитной проницаемости материала вала под действием механических напряжений Виллари	Тяжелое машиностроение. Измерение больших моментов тысячи Н·м в условиях вибрации
Оптические	Измерение угла закручивания или использование эффекта фотоупругости	Научные исследования, бесконтактные измерения в труднодоступных местах

Растущие требования к качеству продукции, обусловленные внедрением современных национальных стандартов и необходимостью отвечать разнообразным пожеланиям потребителя, приводит к росту объемов выполняемых метрологических процедур (поверки и калибровки).

Одной из главных системных проблем на сегодняшний день является отсутствие собственного Национального эталона крутящего момента. Это влечет за собой необходимость калибровки прецизионных средств измерений за рубежом (в РФ), что увеличивает финансовые затраты и время простоя оборудования. Кроме того, передача единицы от российских эталонов не в полной мере гарантирует прослеживаемость и стабильность результатов измерений в национальной метрологической инфраструктуре Республики Беларусь.

Средства измерений крутящего момента, их классификация и принцип действия.

В таблице 2 представлена классификация с примерами конкретных устройств, наиболее часто встречающихся в лабораторной и производственной практике.

Таблица 2 – Основные проблемы обеспечения единства измерений крутящего момента в РБ

Проблема	Характеристика	Последствия
Отсутствие национального эталона	Нет физической возможности хранить и воспроизводить единицу крутящего момента с наивысшей точностью	Зависимость от зарубежных метрологических институтов; отсутствие суверенитета в калибровке
Износ парка эталонов	Используемые средства поверки и калибровка устаревают	Снижение точности передачи единицы рабочим СИ, риск получения неточных результатов
Импортзависимость	Отсутствие собственных разработок высокоточных эталонных установок	Высокая стоимость закупки импортных эталонов, сложности с их сервисным обслуживанием

Пути совершенствования и обоснование необходимости разработки Национального эталона. Для решения обозначенных проблем и обеспечения технологического суверенитета Республики Беларусь в области метрологии механических величин, необходимо предпринять комплекс мер по совершенствованию системы обеспечения единства измерений крутящего момента. Ключевым шагом должна стать разработка и создание собственного Национального эталона единицы крутящего момента.

Необходимость создания эталона подкреплена несколькими факторами:

1. Техническая возможность: Современный уровень развития приборостроения позволяет создавать компактные рычажно-грузовые или высокоточные тензометрические эталонные установки, не уступающие зарубежным аналогам (например, эталонам РТВ (Германия) или ВНИИМС (РФ)). Белорусские предприятия обладают достаточной производственной базой для изготовления высокоточных механических узлов.

2. Экономическая целесообразность: Затраты на разработку эталона окупятся за счет исключения ежегодных затрат на калибровку за рубежом и сокращения простоев предприятий. Появится возможность предлагать платные услуги по калибровке для предприятий стран ЕАЭС.

3. Нормативно-правовая база: Государственная система обеспечения единства измерений РБ (Закон «Об обеспечении единства измерений») предусматривает наличие национальных эталонов для приоритетных видов измерений, к которым, безусловно, относится крутящий момент.

Таблица 3 – Предлагаемые направления совершенствования системы обеспечения единства измерений крутящего момента в РБ

Направление совершенствования	Мероприятия	Ожидаемый результат
Создание Национального Эталона	Разработка и метрологическая аттестация эталонной установки 1-го разряда для диапазона момента востребованного в промышленности РБ	Независимость в передаче единицы, признание результатов калибровок на международном уровне
Модернизация парка рабочих эталонов	Оснащение поверочных и калибровочных лабораторий новыми образцовыми эталонами	Повышение уровня единства измерения в стране
Разработка нормативной документации	Актуализация методик поверки и калибровки, а так же их гармонизация с международными стандартами	Соответствие международным или требованиям

Литература

1. Об обеспечении единства измерений: Закон Респ. Беларусь, 4 сент. 2014 г., № 192-З; в ред. Закона Респ. Беларусь // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by> (дата обращения: 15.03.2026).

2. СТБ 8018-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны единиц величин. Порядок создания, утверждения, хранения и применения. – Введ. 01.09.2002. – Мн.: Госстандарт, 2002. – 12 с.

3. Кузнецов, В. П. Механические измерения / В. П. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 2018. – 456 с.

4. Герасимович, А. Н. Метрология, стандартизация и сертификация в машиностроении: учеб. пособие / А. Н. Герасимович. – Мн.: Новое знание, 2020. – 344 с.
5. Селиванов, М. Н. Основы метрологии и метрологического обеспечения / М. Н. Селиванов. – СПб.: Лань, 2019. – 510 с.
6. Шабалин, Д. Н. Современные методы измерения крутящего момента / Д. Н. Шабалин // Мир измерений. – 2021. – № 4. – С. 22–28.
7. РМГ 29-2013. Рекомендация по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – Введ. 01.01.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 64 с.

УДК 681.2.089

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Магистрант гр. 51349025 Воронова Т. С.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчук В. М.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Процедура калибровки является одним из способов подтверждения метрологических характеристик средств измерений в ряде областей хозяйственной деятельности, в отношении которых осуществляется государственное регулирование в сфере обеспечения единства измерений [1]. При этом право выбора объема экспериментальных исследований при калибровке средств измерений оставляется за пользователем [2]. Поскольку пользователями средств измерений является достаточно широкий круг специалистов, занятых в осуществлении хозяйственной деятельности, которые не всегда имеют (и не обязаны) соответствующую квалификацию в области метрологии и обеспечения точности измерений, процедура обоснованного выбора объема исследований при калибровке зачастую вызывает сложности. Национальные рекомендации или правила в отношении процедуры выбора объема исследований при калибровке отсутствуют. Международные рекомендации по данной теме касаются лишь первичной процедуры калибровки [3], предполагающей более детальные исследования, но не содержат аргументированных рекомендаций по сокращению объема исследований при повторных калибровках для средств измерений с заведомо стабильными метрологическими характеристиками (например, производимых массово).

Основной целью исследования является разработка алгоритма (рекомендаций) по определению оптимального объема экспериментальных испытаний при калибровке с учетом минимизации затрат пользователя (временных и материальных) без потери достоверности калибровочной функции средства измерения, с сокращением количества необходимых испытаний для приборов, известных своей высокой стабильностью характеристик, а также снижение общей стоимости калибровки.

Сущность исследования заключается в изучении того, как изменение объема экспериментальных исследований влияет на достоверность (точность) математической модели калибровочной зависимости (функции) средства измерения.

Методика исследования предполагает первичное построение калибровочной функции средства измерения [4, 5] на основе всего имеющегося объема результатов экспериментальных исследований его метрологических характеристик с учетом характеристик неопределенностей, приписываемых результатам. В дальнейшем производится исключение части результатов экспериментальных исследований, с учетом характера и скорости изменения калибровочной функции, и повторное построение калибровочной зависимости на основе усеченного объема эмпирической информации с последующей проверкой идентичности полученных калибровочных функций с помощью алгоритма, основанного на сравнении интервальных оценок параметров распределений.

На основании результатов сравнения формируется вывод о возможности уменьшения объема эмпирических исследований без потери достоверности (искажения) калибровочной функции. Приводятся рекомендации по выбору исключаемых данных – их объема и положения в первичной выборке.

Исследования проводятся для различных видов калибровочных функций – линейных и полиномиальных – с использованием эмпирических данных с различными уровнями достоверности (приписанными значениями неопределенности).

Литература

1. Об обеспечении единства измерений: Закон Респ. Беларусь, 5 сент. 1995 г., № 3848-XII: в ред. Закона Респ. Беларусь от 27.12.2024 № 53-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – № 2/2692. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 15.03.2026). – 29 с.
2. Об утверждении Правил осуществления метрологической оценки в виде работ по калибровке средств измерений: постановление Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 23 апр. 2021 г., № 42 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – № 8/36599. – 29 с. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 15.03.2026).
3. JCGM GUM-6:2020. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Part 6: Developing and using measurement models. – 1st ed. – JCGM, 2020. – 79 p.
4. ГОСТ ISO/TS 28037-2019. Нахождение и использование линейной калибровочной функции. – Введ. 01.10.2020. – Мн.: БелГИСС, 2019. – 58 с.
5. ГОСТ ISO/TS 28038-2021. Статистические методы. Определение и использование полиномиальных функций при калибровке. – Введ. 01.01.2023. – Мн.: БелГИСС, 2022. – 42 с.

УДК 531.71

СПЕЦИАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА СОПРЯГАЕМОГО КОНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА СЕДЛА КЛАПАНА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Студент гр. 11305122 Гончаров М. В., студент гр. 11305123 Семенчук М. В.

Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Качество изготовления впускных и выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – определяющий фактор, обеспечивающий герметичность камеры сгорания, эффективный газообмен, оптимальную мощность и долговечность ДВС.

Размеры сопрягаемой конической поверхности (седла клапана) задаются двумя параметрами: диаметром конуса в заданном сечении (основной плоскости) и базорасстоянием – расстоянием от базовой плоскости до заданного сечения. Для измерения базорасстояния предлагается использовать специальное средство измерений (ССИ), схема которого приведена на рисунке 1.

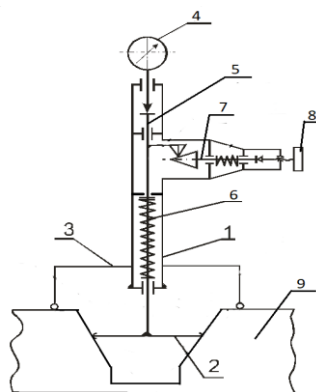


Рис. 1. Схема специального средства измерения:

- 1 – корпус; 2 – центрирующий мостик; 3 – базирующее устройство (опорный мостик);
4 – измерительная головка; 5 – шток; 6 – пружина; 7 – механизм тонких перемещений;
8 – микровинт; 9 – имитационная мера

ССИ состоит из корпуса 1, внутри которого перемещается под действием пружины 6 шток 5, создающей рабочее усилие. На конце штока установлен центрирующий мостик 2, размер которого соответствует диаметру измеряемой конической поверхности в основной плоскости. Арретирование штока осуществляется механизмом тонких перемещений 7 и микровинтом 8. Для отсчета результатов используется измерительная головка 4. Настройки прибора проводится с использованием имитационной меры 9. При настройке прибора использование имитационных меры предпочтительно, так как все составляющие погрешности, кроме инструментальных, путем проведения определенных организационно-технических мероприятий, могут быть сведены к пренебрежимо малым значениям.

Для проведения измерений базирующее устройство (опорный мостик) 3 ССИ устанавливается на поверхности детали. Обеспечение соосности положения ССИ относительно контролируемой поверхности осуществляется при помощи центрирующего мостика 2, который вместе с базирующим устройством создает воспроизводимую измерительную базу. С помощью арретирующего устройства и под действием пружины 6, шток 5 опускается до контакта центрирующего мостика с контролируемой поверхностью, после чего измерительный преобразователь 4 отсчитывает величину перемещения штока относительно базирующего устройства.

Наличие ССИ, обладающего необходимой точностью и обеспечивающего высокую производительность процедуры контроля открывают, в условиях серийного производства, перспективы для применения статистических методов контроля качества продукции.

УДК 006.07

ВЛИЯНИЕ МЕТРОЛОГИИ НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА И НАДЕЖНОСТИ ПРИБОРОВ

Студент гр. 11305124 Грабина В. С.

Кандидат техн. наук, доцент Филонова М. И.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Метрология играет критически важную роль в современных производственных процессах, поскольку она обеспечивает точность и надежность измерений, что напрямую влияет на качество продукции, безопасность оборудования и эффективность производственных операций. Поддерживает научно-исследовательские разработки и другие инновационные процессы на предприятиях и организациях, приводящие к инновациям. Точное измерение и контроль поверхности необходимы для обеспечения функциональных характеристик, эстетики и долговечности изготовленных компонентов.

За прошедшие годы в области метрологии произошел значительный прогресс в методах и технологиях измерения, обусловленный спросом на более высокую точность, эффективность и автоматизацию в производственных процессах. Так, внедрение промышленной компьютерной томографии и лазерной интерферометрии позволило анализировать внутреннюю структуру деталей и микронные отклонения в 3D-формате. Традиционные механические методы метрологии, такие как штангенциркули, микрометры и высотометры, легли в основу измерения размеров. Хотя эти методы на сегодняшний день по-прежнему широко используются для определенных средств измерений, они были в значительной степени вытеснены более совершенными методами, обеспечивающими более высокую точность и автоматизацию.

Методы оптической метрологии, включая оптическую профилометрию, интерферометрию и цифровую визуализацию, используют световые технологии для измерения топографии поверхности, формы и размеров с исключительной точностью и скоростью. Например, интерферометрия белого света позволяет измерять шероховатость линз и полупроводниковых пластин с нанометровым разрешением. Эти бесконтактные методы особенно хорошо подходят для измерения деликатных или сильно отражающих поверхностей, таких как зеркальные покрытия телескопов или тонкие полимерные пленки, которые могут быть повреждены при контакте со щупом. Системы 3D сканирования используют лазер, структурированный свет или другие технологии зондирования для получения подробных 3D-представлений объектов. Эти системы широко используются для обратного проектирования, контроля качества и размерного анализа в таких отраслях, как автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность и производство медицинских приборов. Последние достижения в метрологии включают интеграцию искусственного интеллекта, автоматизации анализа данных и обеспечения предсказательного обслуживания в метрологических системах. К примеру, алгоритмы машинного обучения могут автоматически распознавать микротрещины на изображениях с камер высокого разрешения, а интеллектуальные датчики в измерительных головках сигнализируют о необходимости калибровки еще до того, как погрешность выйдет за рамки допуска.

Подводя итог, можно сказать, что эволюция методов метрологии характеризуется постоянным стремлением к более высокой точности, эффективности и автоматизации для удовлетворения меняющихся потребностей современного производства. Используя передовые технологии измерений и придерживаясь строгих метрологических принципов и стандартов, производители могут гарантировать качество, надежность и конкурентоспособность своей продукции на современном мировом рынке.

Литература

1. Российская метрологическая энциклопедия: в 2 т. / подгот. и изд. под ред. В. В. Окрепилова. – 2-е изд. – СПб.: Лики России, 2015. – Т. 1: Метрология – наука об измерениях. – 903 с.
2. Крутиков, В. Н. Метрологические проблемы обеспечения качества продукции / В. Н. Крутиков // Метрологическое обеспечение экономики в современных условиях: сборник материалов международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 23–24 сентября 2015 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – С. 23–24.
3. Хажиев, Н. М. Ключевая роль метрологии в процессах и улучшениях качества производства / Н. М. Хажиев, Ш. К. Кадилов // Pedagogics. – 2025. – Т. 81, № 1. – С. 204–214.
4. Влияние метрологии на экономику и торговлю // Fastfine.ru. – URL: <https://fastfine.ru/readyworks/referaty/metrologiya/vliyanie-metrologii-na-ekonomiku-i-torgovlyu> (дата обращения: 23.02.2026).

УДК 614.2:519.8

ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ, МОДЕЛИРОВАНИЮ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ДАННЫХ О ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЗНАЧИМЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Студенты гр. 4209 Гришаева М. К., Бекназарова А. Т.,

студенты гр. 4210 Ганич А. М., Филатьева А. Д.

Кандидат мед. наук Бразовская Н. Г.

Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

Социально значимые заболевания остаются одной из ведущих причин смертности и потерь здоровья населения во всем мире. Использование современных многофакторных методов анализа заболеваемости необходимо для более эффективного планирования ресурсов и выбора стратегий в здравоохранении.

Цель исследования. Изучение и апробация подходов к анализу, моделированию и прогнозированию показателей заболеваемости социально значимыми заболеваниями в регионах Российской Федерации.

В ретроспективном исследовании проанализированы открытые данные Росстата и Минздрава России за 2010–2024 гг. по 85 субъектам РФ. Статистическая обработка выполнена в программах STATISTICA 13.0 и Google Colab (языки R и Python) с использованием корреляционного анализа Спирмена и множественного регрессионного анализа с пошаговым исключением предикторов, факторного анализа методом главных компонент, кластерного анализа методом k - средних, а также нейросетевого моделирования (многослойный перцептрон, MLP) и моделей ARIMA.

Современные подходы к анализу заболеваемости ориентированы на прогнозирование числа заболевших, выявление связанных с заболеваемостью факторов (социально-демографических, экологических и др.), а также на учет региональных особенностей, позволяющих проводить дифференцированную профилактику и таргетное планирование ресурсов здравоохранения. Первый блок исследования, посвященный прогнозированию заболеваемости злокачественными новообразованиями в РФ (2010–2024 гг.), показал, что лучшая нейросетевая модель (MLP 3-7-1) обеспечила минимальную прогнозную ошибку на данных 2024 года и превзошла статистическую модель ARIMA(1,1,0) (ошибка 3,5 %). Корреляционный анализ выявил обратные связи заболеваемости с приростом населения и ожидаемой продолжительностью жизни мужчин. Множественный регрессионный анализ показал, что заболеваемость сахарным диабетом в 2019 году является значимым предиктором снижения общего прироста населения в 2024 году ($R^2 = 0,34$; $p < 0,001$). Кластерный анализ методом k-средних выделил четыре типа регионов по уровню заболеваемости: от регионов с наименьшими показателями (6 % субъектов) до регионов с высокими показателями (21 %), что подтверждает выраженную неоднородность эпидемиологической ситуации. Факторный анализ (метод главных компонент) выделил три фактора, объясняющих 62,6 % дисперсии: первый (27,3 %) связал рост заболеваемости с депопуляцией, второй (21,6 %) – с продолжительностью жизни старшей пенсионной возрастной группы, третий (13,65 %) – с антропогенной нагрузкой на лесные экосистемы.

Результаты исследования подтверждают, что интеграция различных статистических подходов – от прогнозных моделей до методов многомерного анализа – обеспечивает более комплекс-

ное понимание эпидемиологической ситуации. Полученные данные могут служить аналитической основой для дифференцированного планирования ресурсов здравоохранения и разработки целевых профилактических программ с учетом региональной специфики.

Литература

1. Qureshi, M. Comparative Evaluation of the Multilayer Perceptron Approach with Conventional ARIMA in Modeling and Prediction of COVID-19 Daily Death Cases / M. Qureshi, M. Daniyal, K. Tawiah // *Journal of Healthcare Engineering*. – 2022. – Vol. 2022. – P. 4864920.
2. Галушин, П. В. Кластерный анализ социально значимых заболеваний в Российской Федерации / П. В. Галушин, Е. Н. Галушина // *Вестник НГУЭУ*. – 2023. – № 1. – С. 169–183.
3. Межрегиональный анализ заболеваемости как инструмент совершенствования системы социально-гигиенического мониторинга / В. В. Коломин, Н. И. Латышевская, В. С. Рыбкин [и др.] // *Гигиена и санитария*. – 2021. – Т. 100, № 6. – С. 633–639.
4. Федорова, Г. В. Факторный анализ в изучении материнской смертности в Омской области в 1995–2003 гг. / Г. В. Федорова, Е. А. Бутова, И. А. Банюшевич // *Бюллетень сибирской медицины*. – 2006. – Т. 5, № 1. – С. 97–106.

УДК 621.791

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Магистрант гр. 1131024 Гуринович А. А.

Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Объектом доклада является система поддержки принятия решений (СППР) при управлении портфелем проектов в проектно-ориентированных организациях (ПОО). Характерной особенностью функционирования ПОО является ведение нескольких параллельных проектов, находящихся на различных стадиях жизненного цикла. Несмотря на тщательное предварительное планирование с учетом ограниченных производственных, временных, финансовых и людских ресурсов, а также последующую корректировку планов в ходе выполнения, организации неизбежно сталкиваются с форс-мажорными обстоятельствами. К числу таковых относятся: изменение требований заказчика, выявление брака, требующего доработки, срыв сроков поставки комплектующих, временная нетрудоспособность ключевых сотрудников и прочие [1]. В условиях возрастающего количества внешних и внутренних влияющих факторов оперативность и обоснованность принимаемых решений выходят на первый план.

Проведенный анализ научной литературы и публикационной активности в исследуемой области выявил существенную диспропорцию. Основной массив исследований, посвященных вопросам оперативной поддержки принятия решений в условиях сбоя, относится к сфере информационных технологий (ИТ). Для промышленного сектора (машиностроение, строительство и др.) характерны лишь отдельные примеры решения узкоспециализированных задач. Данное обстоятельство не свидетельствует об отсутствии наработок в промышленности, а скорее указывает на то, что они зачастую относятся к категории «ноу-хау», тщательно охраняются и не публикуются в открытом доступе, что, в свою очередь, открывает перспективы для собственных научных разработок в этом направлении.

Процесс поддержки принятия решений представляет собой комплексный многоэтапный процесс, каждый этап которого решает конкретную задачу. Выполнение этих этапов может быть поддержано использованием различных информационных технологий и методов. В результате анализа установлено, что при решении проблемных ситуаций преимущественно применяются инструменты менеджмента качества и бережливого производства: FMEA-анализ, диаграмма Исикавы, метод «5 почему», анализ Парето и др. В то же время, комплексные технологические решения для сквозной поддержки всей цепочки процессов – от возникновения проблемы до реализации корректирующего воздействия – в основном разрабатываются и внедряются в ИТ-компаниях, изначально являющихся проектно-ориентированными.

Таким образом, для промышленных ПОО характерно отсутствие реализованной на практике взаимосвязи между методами ППР и специализированным информационно-программным обеспе-

чением. Прямое копирование ИТ-подходов не представляется возможным в силу специфики производственной сферы. Однако, идеология и общие принципы построения таких систем могут быть адаптированы для промышленного сектора (машиностроение, строительство и др.). При этом на современном этапе развития промышленные организации могут и должны использовать методологическую базу, накопленную в сфере ИТ, однако создание адекватного информационно-программного обеспечения, учитывающего специфику производства, требует выполнения самостоятельных разработок. В докладе приведена классификация форс-мажорных ситуаций, характерных для проектно-ориентированных промышленных организаций и соответствующие алгоритмы поддержки принятия решений. Последние, в свою очередь, являются скелетом для разработки информационных технологий и соответствующей компьютерной поддержки.

Литература

1. Гуринович, А. А. Особенности формирования систем менеджмента качества проектно-ориентированных организаций / А. А. Гуринович, П. С. Серенков // Неразрушающий контроль и диагностика. Специальный выпуск журнала, посвященный системам менеджмента качества. – 2024. – № 4. – С. 3–10.

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

Аккредитации испытательных лабораторий обеспечивает уверенность заинтересованных сторон в достоверности результатов испытаний, соответствии правил и процедур требованиям национальных и международных стандартов. Опираясь и обобщая значительный опыт, накопленный за период проведения аккредитации испытательных лабораторий в нашей стране, можно предложить определенные пути совершенствования. Системы, в том числе:

1. Использование (интеграцию) процессного подхода на этапе разработки и совершенствования системы аккредитации. Это позволит:

- обеспечить идентификацию ключевых процессов аккредитации (подача заявки, экспертиза, оценка, принятие решения по аккредитации);
- определить «входы» и «выходы» каждого процесса (например, вход – заявка лаборатории, выход – решение об аккредитации);
- осуществлять документирование последовательности и взаимодействия процессов в виде регламентов и блок-схем;
- установить критерии результативности для каждого процесса;
- осуществлять анализ рисков и возможностей на каждом этапе проводимых процедур.

2. Применение функционального подхода на этапе внедрения и оперативного управления, что предполагает:

- закрепление за структурными подразделениями конкретных функций (отдел приема заявок, отдел подготовки договоров, экспертная группа, техническая комиссия по аккредитации); разработку должностных инструкций и регламентов, четко определяющих зоны ответственности, полномочия и взаимосвязи сотрудников;
- внедрение системы KPI для подразделений и отдельных специалистов (количество обработанных заявок, число выявленных несоответствий).

3. Цифровизация процессов и создание единой информационной платформы. Это потребует:

- внедрения электронного документооборота для подачи и обработки заявок на аккредитацию;
- создания единой базы данных аккредитованных лабораторий с открытым доступом (статус аккредитации, область аккредитации);
- автоматизации сбора и анализа данных о результативности работы лабораторий (статистика по протоколам испытаний, результаты межлабораторных сличений);
- использования электронных подписей и блокчейн-технологий для защиты данных и подтверждения неизменности результатов испытаний.

4. Гармонизация с действующими международными стандартами и практиками.
5. Внедрение риск ориентированного подхода к проведению оценок. Это реализуется путем:
 - классификации лабораторий по уровню риска (с учетом области аккредитации, истории обнаружений, значимости результатов для общества);
 - фокуса проверок на наиболее критичных процессах (выбор методов испытаний, обработка результатов, обеспечение метрологической прослеживаемости);
 - использования дистанционных методов контроля (удаленная оценка, анализ электронных данных) для снижения нагрузки на лаборатории.
6. Развитие системы межлабораторных сличительных испытаний (МСИ).
7. Упрощение процедур для малых и специализированных лабораторий.
8. Совершенствование механизмов обратной связи и прозрачности, что предполагает:
 - организацию регулярных опросов заказчиков услуг лабораторий для оценки удовлетворенности результатами испытаний;
 - публикацию ежегодных отчетов органа по аккредитации с анализом динамики показателей (количество заявок, доля отказов, результаты проверок) и создание прозрачного механизма рассмотрения апелляций и жалоб.

Активное внедрение процессного и функционального подходов, цифровизации процессов, риск ориентированных методов контроля на разных этапах жизненного цикла – залог развития гибкой, прозрачной и эффективной системы аккредитации.

УДК 665.58

РЕГУЛЯТОРНЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА БАЗЕ GMP

Магистрант гр. 61331024 Жук Т. А.

Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Производство парфюмерно-косметической продукции характеризуется высокой зависимостью качества продукции от стабильности технологических режимов, свойств сырья и дисциплины персонала. В подобных условиях контроль готового продукта не является гарантией требуемого уровня качества, ее безопасности и воспроизводимости характеристик. Конечный результат во многом определяется способностью предприятия выявлять и управлять источниками несоответствий, влияющими на процесс формирования качества. Наиболее известной моделью такого управления, распространенной в парфюмерно-косметической отрасли, является надлежащая производственная практика, закреплённая в стандарте ISO 22716 [1].

Указанный стандарт формирует совокупность требований к организации производства, охватывающих персонал, инфраструктуру, оборудование, обращение с сырьём, выполнение технологических операций и систему документирования [1]. Ключевая идея GMP заключается в переносе акцента с выявления дефектов на их предупреждение. Любое действие должно выполняться в регламентированных условиях и сопровождаться доказательной записью, обеспечивающей прослеживаемость и возможность анализа.

Регуляторная функция стандарта реализуется через установление обязательных элементов системы управления. К ним относятся распределение ответственности, «независимость» структурных подразделений, отвечающих за качество, качество поступающего сырья и материалов, контроль изменений и управление отклонениями, идентификация и прослеживаемости партий и готовность к отзыву продукции. Таким образом создается алгоритм, при котором любое действие в технологической цепочке заранее определено, выполнено в контролируемых условиях и подтверждено записью.

Особое значение в косметической отрасли имеет управление сырьём. Широкая номенклатура ингредиентов, использование ароматических композиций, пигментов и биологически активных веществ требует не только проведения входного контроля, но и построения системы, включающей «одобрение» поставщиков, наличие «сертификатов соответствия» и построение системы идентификации качества каждой партии. Такой подход позволяет уменьшить объем контроля, смещая акценты с инспекции на процедуры профилактики.

Несмотря на достаточное количество современных исследований [2–4], в которых рассматриваются вопросы практической интеграции GMP в действующие системы менеджмента качества предприятий, на практике достаточно часто наблюдается дублирование процедур, формальный характер записей и сохранение приоритета производственных показателей над требованиями соответствия.

В этой связи актуальными становятся исследования, направленные на разработку механизмов адаптации требований GMP к конкретным организационным условиям, уровню зрелости процессов и структуре ответственности. Эффективность данной модели определяется глубиной ее внедрения в повседневные практики предприятия и степенью вовлеченности и ответственности руководства за поддержание культуры производства и «доказуемость» качества продукции.

Литература

1. Certificación ISO 22716: Buenas Prácticas de Manufactura para la producción de cosméticos // ICONTEC. – URL: https://www.icontec.org/eval_conformidad/certificacioniso-22716-buenas-practicas-de-manufactura-para-laproduccion-de-cosmeticos/ (date of access: 08.09.2021).
2. Swathi, J. A Review on the Cosmetics Rule 2020 and ISO 22716 / J. Swathi, D. Nagasamy Venkatesh // ResearchGate. – URL: https://www.researchgate.net/publication/378788377_A_Review_on_the_Cosmetics_Rule_2020_and_ISO_22716 (date of access: 15.03.2026).
3. Guidelines for Good Manufacturing Practice of Cosmetic Products (GMPC) / Council of Europe. – Strasbourg: Council of Europe Press, 1995. – 80 p.
4. Regulation and safety of cosmetics: pre-and post-market considerations for adverse events and environmental impacts / D. Vieira, D. Silva, S. Costa [et al.] // Cosmetics. – 2024. – Vol. 11, № 6. – P. 184.

УДК 658.511.1

АКТУАЛЬНОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ОАО «АМКОДОР»

Студент гр. 11305122 Закревская Е. В.

Кандидат техн. наук, доцент Токарь О. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ОАО «Амкодор» – один из крупнейших производителей дорожно-строительной, коммунальной, лесозаготовительной и сельскохозяйственной техники в Беларуси и странах СНГ. Предприятие объединяет более двух десятков заводов и производственных площадок, выпуская широкий спектр машин и оборудования, которые эксплуатируются в сложных климатических и дорожных условиях как на территории Республики Беларусь, так и в России, странах дальнего зарубежья.

Высокая конкурентоспособность продукции ОАО «Амкодор» напрямую зависит от стабильности технологических процессов и эффективности системы менеджмента качества (СМК), сертифицированной на соответствие требованиям СТБ ISO 9001. Сложная производственная структура и многообразие выпускаемой техники обуславливают необходимость постоянного совершенствования инструментов контроля и управления качеством, ключевым из которых является внутренний аудит.

Аудит (проверка) качества представляет собой «систематический, независимый и документированный процесс получения объективных свидетельств и их объективного оценивания с целью установления степени выполнения согласованных критериев аудита». Внутренний аудит (аудит первой стороной) проводится самой организацией для анализа со стороны руководства и других внутренних целей. Основными задачами внутреннего аудита на ОАО «Амкодор» являются: оценка соответствия функционирования СМК требованиям стандарта и внутренних регламентов, подтверждение результативности процессов, выявление несоответствий, а также оценка рисков, связанных с качеством выпускаемой продукции.

Внутренний аудит (аудит первой стороной) проводится самой организацией для анализа со стороны руководства. Его основными задачами являются оценка соответствия СМК требованиям стандарта, проверка результативности процессов, выявление несоответствий и областей для улучшения.

Однако практика проведения внутренних аудитов на машиностроительных предприятиях, включая ОАО «Амкодор», часто сталкивается с проблемой формального подхода. Традицион-

ные методы проверки позволяют зафиксировать факт несоответствия, но не дают полной картины причин его возникновения. Анализ результатов зачастую сводится к констатации количества дефектов, а не к поиску путей улучшения процессов.

Для совершенствования системы внутреннего аудита предлагается внедрение дополнительных аналитических методик – статистических методов управления качеством.

Применение диаграмм Парето и контрольных карт Шухарта позволяет выявлять не единичные дефекты, а системные тенденции и отклонения, требующие управленческого вмешательства. Контрольные карты Шухарта являются главным средством анализа стабильности процесса в самых различных областях деятельности. Они хорошо себя зарекомендовали повсеместно в металлургии, автомобильной промышленности, авиации [1].

Анализ коренных причин (RootCause Analysis). Использование методик «5 почему» и диаграммы Исикавы смещает фокус аудита с поиска виновных на выявление истинных причин несоответствий (технология, материалы, квалификация персонала).

Функциональное моделирование процессов (IDEF0). Декомпозиция бизнес-процессов позволяет аудиторам лучше понимать потоки работ и оценивать не отдельные участки, а всю цепочку создания ценности продукции [2].

Внедрение предложенных методик позволит ОАО «Амкор» перейти от констатирующего аудита к аналитическому, повысить объективность оценки СМК и обеспечить непрерывное улучшение качества выпускаемой техники.

Литература

1. Контрольные карты Шухарта – простой, но не легкий для применения инструмент анализа данных / В. Л. Шпер, С. А. Шереметьева, В. Ю. Смелов, Е. И. Хунузиди // Известия вузов. Черная металлургия. – 2024. – Т. 67, № 1. – С. 121–131.
2. Серенков, П. С. Методы менеджмента качества: Процессный подход / П. С. Серенков. – Мн.: Новое издание; М.: Инфра-М, 2014. – 441 с.

УДК 006.91

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

Студенты гр. 11305122 Кацапов Н. В., Александрович А. С.

Ст. преподаватель Гомма М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Точность измерений является одной из важнейших характеристик любой измерительной системы. От нее зависит корректность работы автоматизированных систем управления, промышленного оборудования и научных установок. Даже небольшие отклонения могут привести к снижению качества продукции или неправильной работе технологического процесса [1, 2].

В реальных условиях измерительные приборы работают под воздействием различных внешних факторов. Производственные помещения характеризуются наличием вибраций от оборудования, электромагнитных излучений от силовых установок, а также изменениями температуры и влажности. Все это оказывает влияние на показания датчиков и может вызывать дополнительные ошибки измерения [2, 4].

Механические вибрации возникают в результате работы станков, двигателей и других механизмов. Колебания передаются на корпус прибора и чувствительный элемент датчика, что может приводить к появлению ложных сигналов. Особенно чувствительны к вибрациям тензометрические и пьезоэлектрические датчики. При неблагоприятных условиях вибрации могут значительно ухудшать стабильность показаний [2, 5].

Источниками электромагнитных помех являются электродвигатели, трансформаторы, силовые кабели и радиоэлектронные устройства. Помехи способны искажать измерительный сигнал, вызывать шум и нестабильность показаний. Наиболее уязвимы системы, работающие с малыми уровнями сигнала. Без соответствующей защиты электромагнитные воздействия могут существенно снизить точность измерений [5].

Повышенная влажность влияет на электрические свойства изоляционных материалов и контактов. Со временем это может привести к появлению утечек тока, коррозии и ухудшению характеристик элементов схемы. В условиях переменной температуры возможно образование конденсата, что дополнительно снижает надежность работы измерительной системы [2, 5].

Дополнительно следует отметить влияние температурных колебаний, которые изменяют физические свойства материалов датчиков. Различия в коэффициентах теплового расширения приводят к деформациям конструкций и смещению нулевой отметки. В промышленных условиях такие изменения особенно актуальны для систем, работающих на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях [2, 3].

Еще одним фактором является пыль и агрессивные среды, присутствующие в производственных зонах. Мелкие частицы оседают на поверхностях, ухудшая контакт и вызывая механический износ. Агрессивные газы ускоряют коррозию металлических частей, что со временем сказывается на общей надежности измерительного оборудования [2, 5].

К аппаратным методам защиты относятся экранирование кабелей и корпусов, правильная организация заземления, использование виброизолирующих опор и демпфирующих элементов, а также применение герметичных корпусов. Эти меры позволяют уменьшить воздействие внешних факторов на чувствительные элементы датчиков и повысить устойчивость системы к помехам. Кроме того, выбор материалов с высокой стойкостью к коррозии и герметизация соединений повышают долговечность системы в агрессивных средах [5].

Программные методы основаны на цифровой обработке измерительного сигнала. К ним относятся фильтрация шума, усреднение результатов измерений и применение компенсационных алгоритмов. Такая обработка позволяет повысить стабильность показаний и уменьшить влияние случайных воздействий. Интеграция с системами мониторинга среды эксплуатации позволяет динамически корректировать параметры обработки сигнала [1, 5].

Проведенный анализ показал, что без применения защитных мер измерительная система демонстрирует заметные отклонения показаний. После внедрения аппаратных средств защиты точность значительно повышается. Наилучший результат достигается при комплексном использовании аппаратных и программных методов, что обеспечивает стабильную и надежную работу системы даже в сложных условиях эксплуатации [3, 5].

Внешние дестабилизирующие факторы оказывают существенное влияние на точность измерительных систем. Комплексное применение различных методов защиты позволяет значительно повысить надежность и стабильность измерений. Полученные выводы могут быть использованы при проектировании и эксплуатации современных измерительных систем [1, 3, 4].

Литература

1. Основы метрологии и измерительной техники / под ред. А. Я. Беера. – М.: Логос, 2015. – 320 с.
2. Сапожников, В. В. Измерительные системы и датчики / В. В. Сапожников. – СПб.: Лань, 2018. – 456 с.
3. ГОСТ 8.009-84. Нормирование и оценка погрешностей измерений. Основные положения. – Введ. 01.01.1985. – М.: Стандартинформ, 2015. – 12 с.
4. РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2013. – 40 с.
5. Ким, К. К. Защита электронных устройств от помех / К. К. Ким, А. В. Иванов. – М.: Радио и связь, 2020. – 280 с.

УДК 65.012.61

МИНИМИЗАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА НЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ ПРОЦЕССА ИНСПЕКЦИИ В ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ

Студент гр. 61331024 Качанова Ю. И.

Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В рамках проекта по совершенствованию надзорной деятельности на основе инспекции в пищевой отрасли была проведена комплексная работа по анализу текущей модели инспекционного контроля, выявлению факторов риска и разработке алгоритма предупреждающих действий. Целью проекта является минимизация интегрального риска недостижения целей инспекции за счет системного управления значимыми факторами.

На первом этапе был повторно применен процессный подход, что позволило уточнить границы процесса инспекции, идентифицировать ключевые входы, выходы, ресурсы и участников процесса инспекционного контроля, выявить совокупность потенциальных факторов, влияющих на достижение цели процесса. Полная совокупность потенциальных факторов была установлена на основе анализ функциональной модели процесса, предполагающего установление причинно-следственных связей между этапами процесса, а также задействованными в них ресурсами и целями.

Результатом первого этапа исследований стало формирование полного перечня комплексных потенциальных факторов, способных повлиять на результативность инспекции.

На втором этапе была проведена количественная оценка всех выявленных факторов на основе концепции риск-ориентированного мышления с использованием метода FMEA [1]. Оценка позволила: определить позиции факторов риска, наиболее критичных для достижения цели процесса; сформировать ранжированный перечень факторов; выделить факторы, требующие первоочередного управленческого воздействия.

Все факторы, имеющие приоритетное число риска (ПЧР) более 100, были отнесены к категории значимых и классифицированы на две группы:

Группа 1. Факторы, влияние которых может быть снижено силами организации – это факторы, поддающиеся управлению за счет внутренних организационных, методических, кадровых или технических мер.

Группа 2. Факторы, влияние которых может быть снижено за счет привлечения дополнительных ресурсов или изменения внешних условий (дополнительных данных, нормативных уточнений, организации межведомственного взаимодействия и др.).

Такая классификация факторов позволила определить реалистичные зоны ответственности и сформировать практический план действий.

Предложен алгоритм действий по минимизации интегрального риска недостижения цели процесса инспекции в пищевой отрасли, включающий:

1. Определение значимых факторов (ПЧР > 100).
2. Отнесение значимых факторов к группе 1 или 2 в зависимости от управляемости.
3. Ранжирование факторов в каждой группе по индексу ПЧР для определения приоритетности принятия мер.
4. Разработка корректирующих и предупреждающих действий, их реализация.

Для факторов группы 1 среди мер организационного, методического, технологического плана можно отметить меры: повышение квалификации инспекторов; стандартизацию процедур отбора проб и оформления результатов; внедрение контрольных листов и чек-листов; усиление внутреннего контроля качества инспекционных мероприятий.

Для факторов группы 2 среди мер, предполагающих обоснование и задействование дополнительных ресурсов, инициирование корректировок нормативной базы и т. п., можно отметить меры: подготовка дополнительных аналитических материалов; запросы в смежные подразделения или внешние организации; участие в разработке или корректировке нормативных документов; получение дополнительных данных, необходимых для корректной оценки рисков.

Проведенный анализ и разработанный алгоритм позволяют системно управлять рисками недостижения цели процесса инспекции в пищевой отрасли. Применение процессного подхода, методологии FMEA и классификации факторов обеспечивает повышение прозрачности и управляемости процесса; снижение интегрального риска; повышение результативности инспекционной деятельности; формирование обоснованного плана совершенствования.

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. – 2015. – № 7. – С. 24–32.

УДК 327.7

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В РАМКАХ БРИКС

Студент гр. 11305123 Кисляков Н. Н.

Кандидат техн. наук Давыдова Е. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях глобализации мировой экономики техническое регулирование приобретает ключевое значение как инструмент обеспечения безопасности продукции и одновременно фактор, влияющий на развитие международной торговли. Для объединения БРИКС, включающего государства с различными уровнями экономического развития и правовыми системами, вопрос согласования технических требований становится особенно актуальным [1].

Техническое регулирование представляет собой систему обязательных правовых и организационных мер, направленных на установление требований к продукции и связанным с ней процессам на протяжении всего жизненного цикла. Его основное назначение заключается в защите жизни и здоровья человека, охране окружающей среды и предотвращении введения потребителей в заблуждение. Вместе с тем различия в национальных системах регулирования способны формировать технические барьеры, ограничивающие доступ продукции на внешние рынки.

Страны БРИКС обладают самостоятельными моделями технического регулирования, сформированными под влиянием исторических и институциональных факторов. Россия реализует техническое регулирование преимущественно в рамках наднациональной системы ЕАЭС. Китай характеризуется централизованным административным подходом с широкой сферой обязательной сертификации. Индия сочетает обязательные и добровольные механизмы регулирования. Бразилия и Южно-Африканская Республика ориентированы на развитие национальной инфраструктуры качества и активное применение международных стандартов. Указанные различия усложняют процессы взаимного признания и увеличивают издержки производителей [2].

Сотрудничество в сфере технического регулирования в рамках БРИКС носит координационный характер и реализуется через консультационные механизмы и рабочие группы. Приоритетным направлением взаимодействия является гармонизация национальных стандартов на основе международных стандартов и документов. Вместе с тем отсутствие юридически обязательных механизмов и наднациональных институтов ограничивает глубину интеграции [3].

Перспективы развития технического регулирования в БРИКС связаны с формированием единой инфраструктуры качества, расширением цифрового обмена информацией о стандартах и сертификатах, а также поэтапной реализацией соглашений о взаимном признании оценки соответствия. Последовательное развитие данных направлений позволит снизить технические барьеры, повысить конкурентоспособность продукции стран БРИКС и создать условия для углубления торгово-экономического сотрудничества.

Литература

1. Техническое регулирование и стандартизация // Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК): официальный сайт. – URL: <https://eec.eaeunion.org/comission/departement/deptexreg/tr/> (дата обращения: 05.01.2026).
2. WTO – Technical Barriers to Trade // World Trade Organization. – URL: https://www.wto.org/english/tratop_e/tbt_e/tbt_info_e.htm (date of access: 05.01.2026).
3. Стратегия экономического партнерства БРИКС: принята лидерами стран БРИКС в г. Уфа, 2015 г. – М., Кремль, 2015. – URL: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/KT0SBHnIZjOpIuAj2AOXCnszNQA8u7HL.pdf> (дата обращения: 05.01.2026).

УДК 681

КРИТЕРИИ И АЛГОРИТМ ВЫБОРА СПОСОБА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Студент гр. 11305122 Кубрин Д. С.

Ст. преподаватель Гомма М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные координатно-измерительные машины являются основой прецизионного контроля геометрии деталей в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности. Ключевым элементом, определяющим возможности и точность измерений, является измерительная головка (чувствительный элемент). Развитие измерительных головок прошло путь от простых контактных устройств, принцип которых основан на выработке сигнала при касании щупа с поверхностью до сложных оптических систем, позволяющих выполнять оцифровку поверхности с высокой плотностью точек.

Современный рынок предлагает широкий спектр измерительных головок: контактные, оптические (бесконтактные) и многосенсорные системы. Каждый тип имеет свои достоинства, недостатки и область рационального применения. Неправильный выбор измерительной головки может привести к неоправданным затратам, снижению точности или невозможности измерения отдельных элементов детали.

Критерии выбора типа головки должен базироваться на комплексном анализе следующих характеристик измеряемой детали:

- Требуемая точность измерений: допуски на размер, форму и расположение. Для допусков IT5 – IT7 (до 5–10 мкм) применимы контактные головки; для IT8 – IT10 (10–50 мкм) – оптические.
- Геометрические особенности детали: наличие сложных криволинейных поверхностей, глубоких полостей, острых кромок, микроотверстий.
- Материал и твердость: мягкие (пластик, резина) требуют бесконтактного метода; твердые металлы могут измеряться контактно.
- Шероховатость поверхности: оптические методы чувствительны к блеску и цвету.
- Производительность (время измерения): при массовом контроле предпочтительны оптические или сканирующие головки из-за их скорости измерения.
- Условия среды: температура, вибрации, запыленность.
- Квалификация оператора: сложность программирования сканирующих и оптических систем выше.

Алгоритм выбора типа измерительной головки следующий:

- Оценка требуемой точности – сопоставление заданных допусков (IT) с паспортными характеристиками потенциальных типов головок. Необходимо учитывать, что паспортная точность достигается в идеальных условиях.
- Определение необходимой плотности точек – для контроля положения и размеров достаточно 4–8 точек на элемент; для оценки формы и волнистости требуется не менее 10–20 точек на характерный размер.
- Экономическая оценка – расчет времени измерения, стоимости, эксплуатационных затрат, ожидаемого эффекта от повышения качества и сокращения брака.
- Принятие решения с учетом стратегии развития производства.

Предложенный алгоритм позволяет системно подойти к решению задачи и избежать типичных ошибок, связанных с несоответствием оснащения реальным производственным задачам. Разработанный алгоритм может быть использован метрологическими службами машиностроительных предприятий при выборе оснастки для вновь приобретаемых координатно-измерительных машин.

Литература

1. Hexagon Manufacturing Intelligence // Hexagon Manufacturing Intelligence. – URL: <https://www.hexagonmi.com/> (date of access: 25.02.2026).
2. Renishaw plc. // Renishaw. – URL: <https://www.renishaw.com/> (date of access: 25.02.2026).

УДК 621.317

**МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ
ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ**

Студент гр. 11305122 Кубрин Д. С.

Кандидат техн. наук, доцент Коробко Ю. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Электронные цифровые вольтметры являются наиболее востребованными средствами измерений в современном приборостроении, радиоэлектронике и в других отраслях промышленности. Сегодня парк цифровых вольтметров постоянно расширяется как за счет отечественного производства, так и за счет поступления из-за рубежа и активно включаются в Государственный реестр средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь, допущенных к применению на территории Республики Беларусь [1].

В соответствии с законом «Об обеспечении единства измерений», средства измерений подлежат метрологической оценке [2]. Традиционно преобладала поверка, для которой разработана обширная нормативная база. Однако современные тенденции, гармонизация с международными стандартами (ISO/IEC 17025) требуют большего внимания к калибровке. Документы, посвященные непосредственно калибровке, требуют адаптации к современным условиям и конкретным типам средств измерений, что подтверждает актуальность разработки новых методик.

Разработка методики калибровки электронных вольтметров представляет собой комплексную задачу, включающую выбор средств калибровки, определение последовательности операций, установление требований к условиям проведения измерений и разработку процедуры оценивания неопределенности.

Калибровка электронных вольтметров может выполняться несколькими методами. Наиболее распространенным является метод прямых измерений, при котором на вход калибруемого вольтметра подается калиброванное значение напряжения от эталонного источника (калибратора) и снимаются показания поверяемого прибора. Данный метод отличается простотой реализации, наглядностью и возможностью автоматизации процесса. Оценивание неопределенности выполняется в соответствии с ГОСТ 34100.3–2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения».

Статья посвящена разработке методики оценивания неопределенности, возникающей при калибровке цифровых вольтметров. В качестве примера выбран вольтметр мультиметра VICTOR86C. Известно, что выходной величиной при калибровке средств измерений является погрешность калибровки [3]. На основании анализа процесса измерения при калибровке была построена диаграмма причинно-следственной связи, позволяющая систематизировать источники неопределенностей и определена модель измерения:

$$\Delta U = U_m + \delta U_{\text{э}} + \delta U_{\text{кв}} + \delta U_{\text{кг}},$$

где ΔU – погрешность измерения вольтметра; U_m – среднее отклонение показаний калибруемого вольтметра; $\delta U_{\text{э}}$ – поправка, обусловленная погрешностью эталона; $\delta U_{\text{кв}}$ – поправка, обусловленная погрешностью квантования; $\delta U_{\text{кг}}$ – поправка, обусловленная нестабильностью кварцевого генератора.

Для каждой входной величины определены: тип оценивания неопределенности (А или В); вид распределения (нормальное, прямоугольное); оценочное значение; стандартная неопределенность. Все входные величины рассматриваются как некоррелированные. Коэффициенты чувствительности для всех составляющих приняты равными 1, что упрощает вычисление суммарной неопределенности. Суммарная стандартная неопределенность вычисляется как корень квадратный из суммы квадратов стандартных неопределенностей входных величин. Результаты расчетов оформляются в виде бюджета неопределенности.

Разработанная методика оценивания неопределенности апробирована при калибровке цифрового вольтметра В7–40. Полученные значения расширенной неопределенности не превышают пределов допускаемой погрешности, что подтверждает пригодность методики. Методика может быть адаптирована для других типов электронных вольтметров и использована в аккредитованных калибровочных лабораториях.

Литература

1. Государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений // Обеспечение единства измерений: информационный портал. – URL: <https://oei.by/> (дата обращения: 25.02.2026).
2. Об обеспечении единства измерений: Закон Респ. Беларусь, 5 сент. 1995 г., № 3848-XII: в ред. Закона Респ. Беларусь от 27.12.2024 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by> (дата обращения: 25.02.2026).
3. РМГ 115-2019. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности: утв. 30.09.2019 № 122-П. – Минск: БелГИСС, 2019. – 48 с.

УДК 621.791

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ

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

Ключевой задачей при управлении и улучшении качества отливок в песчано-глинистые формы является выявление приоритетных направлений совершенствования технологического процесса литья. С целью решения данной задачи была структурирована сложная система взаимосвязи дефектов и вызывающих их элементов производственной системы: «дефект – элемент производственной системы» (рис. 1).

При прямом построении системы взаимосвязи «дефект – элемент производственной системы» столкнулись с проблемой, что эксперт, формируя для каждого дефекта множество элементов производственной системы, которые могут этот дефект вызывать, испытывает когнитивный диссонанс. Причиной диссонанса является многозначная, неявная связь между конкретным дефектом (например, газовая раковина) и элементом производственной системы (например, литейная форма). Данная проблема приводит к тому, что эксперты не выявляют в полной мере множество элементов, вызывающих i -тый дефект.

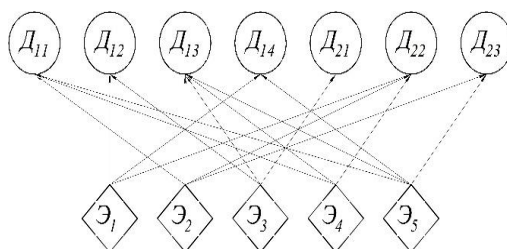


Рис. 1. Фрагмент структуры «дефект – элемент производственной системы»

Для преодоления данной проблемы предлагается ввести в иерархию промежуточный уровень, который логически увязывал бы между собой конкретный дефект и элемент производственной системы. В качестве такого промежуточного уровня могут выступать: физико-механические, химические факторы и причины. Логика идентификации и оценивания значимости элементов производственной системы следующая: «дефект – причина/фактор – элемент производственной системы» (рис. 2).

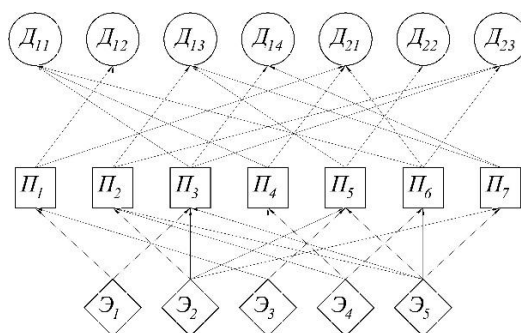


Рис. 2. Фрагмент структуры «дефект – причина/фактор – элемент производственной системы»

Добавление промежуточного элемента «причина/фактор» позволяет двигаться по цепочке и тем самым эксперт с меньшей вероятностью пропустит важный фактор, влияющий на дефект. Добавление данного элемента также дает возможность логической аргументации: влияния на элемент А с целью изменения параметра В который снизит вероятность дефекта С.

Литература

1. Модели связи свойств материалов в системе организации производства: монография / А. В. Рагуткин, И. Н. Омельченко, А. Ю. Албагачиев [и др.]. – М.: Эко-Пресс, 2025. – 239 с.

УДК 621.791

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ПРИОРИТЕТОВ ОБЪЕКТОВ В СЛУЧАЕ ИХ БОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА

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

С целью выявления весомостей объектов в сложных, неявных задачах прибегают к использованию метода альтернатив в основе которого лежит шкала Т. Саати [1]. В рамках метода альтернатив оцениваемые объекты сравниваются попарно. Для каждой пары эксперт отвечает на вопрос: «На сколько объект А превосходит объект. В с точки зрения критерия С». В помощь эксперту предоставляется шкала Т. Саати, которая помогает перевести качественные суждения о сравниваемых объектах или явлениях в количественные оценки. Для ответа используется интерпретация чисел: 0 – нет различия; 2 – слабое различие; 4 – среднее различие; 6 – сильное различие; 8 – максимальное различие; 1, 3, 5, 7 – промежуточные оценки предпочтения между соседними значениями.

Однако существует проблема в оценке большого количества объектов. Данная проблема связана с градацией шкалы Т. Саати, так, крайние значения шкалы (0 и 8) используются для крайней степени превосходства или отсутствия превосходства, тем самым основная масса сравнений ужимается в узкий диапазон (от 1 до 7), возникает нехватка чувствительности шкалы. Итогом становится снижение доверия к получаемым оценкам, характеризующим превосходство одних объектов над другими альтернативными. Решением данной проблемы может выступать использование шкалы с большим числом градации, например, с 20-бальной шкалой или больше. Однако, увеличение числа градации более девяти приведет к падению согласованности экспертных оценок из-за психофизических ограничений человека [2].

Для решения данной проблемы можно воспользоваться следующими вариантами:

- применение иного метода;
- модификация существующего метода альтернатив.

В рамках решения задачи данной задачи был реализован второй вариант. Модификация существующего метода альтернатив предполагала корректировку плана А опроса экспертов. Корректировка заключалась в смене опорного значения на промежуточных уровнях предпочтительности альтернативных объектов (рис. 1).

План А $V_i - V_j$	Ответ эксперта в баллах по шкале парных сравнений	План В $V_i - V_j$	Ответ эксперта в баллах по шкале парных сравнений
V1 – V6		V1 – V2	
V2 – V6		V2 – V3	
V3 – V6		V3 – V4	
V4 – V6		V4 – V5	
V5 – V6		V5 – V6	
V6 – V11		V6 – V7	
V7 – V11		V7 – V8	
V8 – V11		V8 – V9	
V9 – V11		V9 – V10	
V10 – V11		V10 – V11	

Рис. 1. Пример использования двух уровней в плане А

В данном докладе приведен пример построения плана А, который был разбит на две части, каждая из которых характеризуется своим опорным объектом. На первых пяти строках плана

опорное значение – V_6 , на остальных пяти строках плана опорное значение – V_{11} . Условие разбития плана А на несколько уровней следующее: число объектов сравнений в уровне не должно превышать семи. В качестве опорного объекта на первом уровне выступает показатель V_6 , то есть начиная с седьмого объекта сравнения выбирается следующее опорный показатель. На втором уровне в качестве опорного объекта выступает показатель V_{11} . Данный способ разбития плана А на несколько уровней решает проблему близких оценок и дает возможность оценки большого количества объектов, при этом обработка плана А остается неизменной.

Литература

1. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process / T. L. Saaty. – N. Y.: McGraw-Hill, 1980. – 287 p.
2. Miller, G. A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information / G. A. Miller // Psychological Review. – 1956. – № 63. – P. 81–97.

УДК 543.061

ОБНАРУЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ В СТИРАЛЬНЫХ ПОРОШКАХ

Студентка 4 курса факультета технологии органических веществ Кулеш С. А.

Кандидат хим. наук, ст. преп. Юхно Е. К., кандидат техн. наук, доцент Сергиевич О. А.

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

В стиральных порошках фосфаты, в том числе $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, добавляют для снижения жесткости воды, в мягкой воде эффективность удаления загрязнений выше. Однако фосфаты при попадании в водоемы вместе со сточными водами вызывают избыточный рост водорослей [1], поэтому во многих странах применение фосфатов в бытовых стиральных порошках ограничено, и вместо фосфатов в порошки добавляют силикаты, цеолиты (алюмосиликаты), фосфонаты (органические соединения фосфора, в меньшей степени влияющие на рост водорослей). В Беларуси согласно Единым санитарно-эпидемиологическим требованиям ЕАЭС в средствах для стирки массовая доля фосфатов в пересчете на P_2O_5 должна составлять не более 17 %. Иногда производитель наносит на упаковку маркировку «без фосфатов» ради маркетинга, но оставляет их в составе. Также остатки фосфатов из оборудования, на котором производились фосфатные порошки, могут попасть в партию бесфосфатных порошков. Таким образом, целью работы является разработка методики обнаружения незначительных количеств фосфатов в стиральных порошках.

При взаимодействии ортофосфат-ионов с молибдатами в кислой среде образуется труднорастворимое желтое соединение, состав которого зависит от условий осаждения [2, 3], одна из форм записи $(\text{NH}_4)_3[\text{PO}_4(\text{Mo}^{\text{VI}}\text{O}_3)_{12}]$ [4]. Данное соединение является сильным окислителем, которое под действием восстановителей образует окрашенное в синий цвет соединение, содержащее ионы Mo^{+5} и Mo^{+6} , «молибденовая синь» [2, 5]. Наиболее устойчивые по составу продукты дает аскорбиновая кислота. Реакция происходит более полно при повышенных температурах и при значениях pH ниже 7, когда полифосфаты гидролизуются с образованием ортофосфатов [1, 2]. Для того, чтобы открыть фосфат-ионы в присутствии анионов кремниевой кислоты, образующих при взаимодействии с молибдат-ионами аналогично окрашенные соединения, к исследуемому раствору добавляют винную кислоту, которая препятствует образованию солей кремнемолибденовой кислоты [5]. В работе были исследованы два бесфосфатных порошкообразных моющих средства (образцы № 1 и № 2), приобретенные в розничной сети.

В стакане растворили 0,5 г стирального порошка в 10 мл дистиллированной воды, отфильтровали от нерастворившихся частиц порошка, добавили 25 % азотную кислоту до прекращения выделения CO_2 и до достижения pH 1,5–2. Нагрели жидкость до температуры, близкой к кипению, в течение 1–2 минут. Остудили до 40–50 °С, добавили в стакан 1 мл 10 % раствора молибдата аммония и 2 мл 10 % раствора винной кислоты. Добавили в стакан на кончике шпателя аскорбиновую кислоту. Раствор образца № 2 приобрел бледно-голубой цвет (рис. 1, а), что может указывать на присутствие в нем незначительного количества фосфатов. Образец № 1 после добавления аскорбиновой кислоты остался бледно-желтым (рис. 1, в). Был проведен опыт без добавления винной кислоты, то есть без маскировки ионов SiO_3^{2-} . Оба образца после добавления аскорбиновой кислоты приобрели насыщенный синий цвет вследствие образования кремнево-молибденового комплекса и восстановления его аскорбиновой кислотой (рис. 1, б).

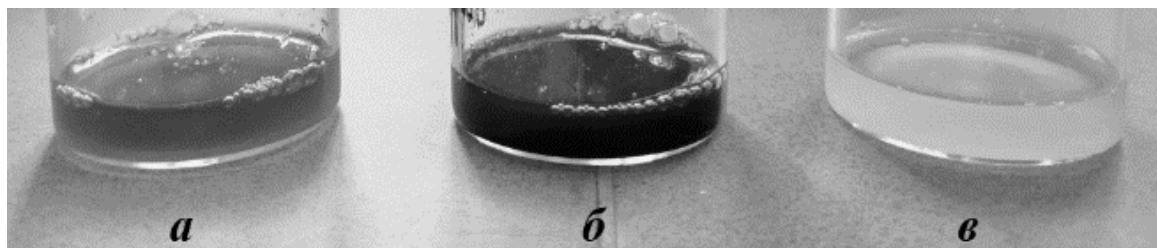


Рис. 1. Результаты анализа на содержание фосфатов: а – образец № 2 с маскировкой силикатов; б – образец № 1 без маскировки силикатов; в – образец № 1 с маскировкой силикатов

Литература

1. Бухштаб, З. И. Технология синтетических моющих средств / З. И. Бухштаб, А. П. Мельник, В. М. Ковалев. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 320 с.
2. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
3. Шарло, Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений / Г. Шарло. – М.: Химия, 1965. – 976 с.
4. Коваленко, Н. А. Аналитическая химия: учеб.-мет. пособие для студентов химико-технологических специальностей: в 2 ч. / Н. А. Коваленко, А. А. Сакович, Е. В. Радион. – Мн.: БГТУ, 2024. – Ч. 1. – 133 с.
5. Крешков, А. П. Основы аналитической химии: в 3 т. / А. П. Крешков. – 3-е изд., перераб. – М.: Химия, 1970. – Т. 1: Теоретические основы. Качественный анализ. – 472 с.

УДК 303.62

КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Студент гр. 11305122 Лужинская А. И.

Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С., кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Разнообразие методов экспертного оценивания создает проблему: как формализовать процедуру выбора конкретного метода под конкретную задачу. Целью настоящей работы является построение унифицированной модели процесса экспертного оценивания. Исходным пунктом моделирования выступает классификация решаемых задач. На основе анализа предметной области [1, 2] выделено пять классов задач: ранжирование объектов по степени выраженности свойства (сравнительные тесты); непосредственная оценка объектов в заданной шкале (тесты с использованием шкал); выбор доминирующей альтернативы из дискретного множества; определение весовых коэффициентов относительной важности критериев; прогнозирование вероятностей наступления событий.

Несмотря на то, что тип задачи накладывает ограничения на способ получения информации, предлагается обобщенный (унифицированный) процесс экспертного оценивания, который адекватно ложится на любую из перечисленных задач. Аналогично процессу оценивания неопределенности измерений, который делится на функциональные этапы [4, 5], процесс экспертного оценивания в общем виде может быть разделен на следующие инвариантные функциональные модули (этапы): 1) целеполагание и постановка задачи (формализация цели экспертизы); 2) комплектование экспертной группы (оценка компетентности, подбор экспертов); 3) сбор эмпирических данных (проведение опроса, анкетирование); 4) обработка данных и проверка согласованности (математико-статистический анализ суждений); 5) интерпретация и агрегирование результатов (формирование итогового заключения).

Ключевая особенность предлагаемого подхода заключается в том, что для каждого модуля (этапа) сформирована коллекция существующих методов и подходов. Это своего рода «библиотека» инструментов, из которой можно выбирать. Например, содержательное наполнение модуля сбора данных (этап 3) напрямую определяется классом задачи: для ранжирования и выбора оптимальна техника парных сравнений, для непосредственной оценки – прямое балльное шкалирование, для прогнозирования – вероятностное шкалирование.

На основе этой модульной структуры процесса оценивания и классификации задач в докладе предлагается методика формирования (синтеза) процесса экспертного оценивания для конкретных условий. Суть методики заключается в следующем: взяв за основу универсальный алгоритм (пять этапов), модератор (исследователь), проектирующий процесса оценивания, для каждого этапа выбирает конкретный метод из соответствующей коллекции. Выбор осуществляется под конкретную задачу, с учетом дополнительных условий: квалификации модератора, компетентности экспертов, временных ресурсов и требуемой достоверности.

Таким образом, для каждой конкретной задачи формируется свой «морфологический ящик» процесса экспертного оценивания. Используя метод морфологического анализа [6], процесс можно представить как таблицу, где строки – инвариантные этапы (модули), а столбцы – варианты их реализации [7]. Выбирая комбинацию методов из ячеек этой таблицы, модератор может гибко формировать целевой, адаптивный алгоритм, руководствуясь различными критериями: максимальной достоверностью результатов, производительностью (оперативностью) процедуры или соответствием уровню компетентности привлеченных экспертов.

Литература

1. Литвак, Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
2. ГОСТ ISO 6658-2016. Органолептический анализ. Методология. Общее руководство. – М.: Стандартинформ, 2016.
3. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
4. Zwicky, F. Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach / F. Zwicky. – New York: Macmillan, 1969. – 276 p.
5. Measurement Systems Analysis (MSA): Reference Manual / DaimlerChrysler Corp., Ford Motor Co., General Motors Corp. – 3rd ed. – Detroit: AIAG, 2002. – 207 p.
6. Одрин, В. М. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц / В. М. Одрин, С. С. Картавов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 148 с.
7. Серенков, П. С. Морфологический подход к разработке процесса оценивания неопределенности измерений / П. С. Серенков, В. М. Романчак, А. В. Грибковский // Приборы и методы измерений. – 2024. – Т. 15, № 3. – С. 210–220.

УДК 621.3.088.3

МЕТОД МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ ШКАЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Студент гр. 11305122 Лужинская А. И.

Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С., кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчак В. М.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Традиционные методы экспертного оценивания технических объектов используют порядковые шкалы, в которых баллы отражают лишь ранжирование, но не фиксируют величину интервалов между уровнями качества. Следовательно, математические операции сложения, вычитания и вычисления среднего арифметического, лежащие в основе агрегирования экспертных мнений, являются алгебраически необоснованными. Применение параметрической статистики к таким данным нарушает их фундаментальные предпосылки, понижая достоверность таких оценок. Для обеспечения сопоставимости и воспроизводимости результатов необходима метрологическая аттестация экспертной шкалы, подтверждающая равномерность ее делений, что является свидетельством того, что прямой метод измерения дает оценки в баллах в интервальной шкале или в близкой к интервальной.

В докладе предложен метод аттестации потенциально равномерной шкалы, реализующийся в виде итерационного алгоритма, основные этапы которого представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Этапы аттестации потенциально равномерной экспертной шкалы

Этап	Название этапа	Краткое описание
1	Разработка описаний	Вербальное описание для каждого балла шкалы (например, от 1 до 5)
2	Сбор данных методом парных сравнений	Эксперты сравнивают описания по планам А и Б по шкале Саати [1]
3	Матрицы парных сравнений абсолютных оценок	Для каждого эксперта решается система уравнений, определяются значения U_i . Вычисляются разности $\Delta_{ij} = U_{i+1,j} - U_{i,j}$, (i – интервал, j – эксперт)
4	Статистическая проверка гипотезы	Двухфакторный дисперсионный анализ [3] проверяет гипотезу о равенстве средних интервалов
5	Принятие решения	Если гипотеза не отвергается – шкала имеет статистически значимую равномерность. Иначе – корректировка описаний и возврат к этапу 1

В докладе особое внимание уделено этапам 2 и 3. На этапе 2 эксперты проводят парное сравнение предпочтительности одного описания перед другим по двум планам: по плану А (каждый с фиксированным эталоном) и по плану Б (каждый с последующим). Полученные словесные суждения переводятся в количественную форму с использованием шкалы Саати [1], где градациям от равноценности до чрезвычайного превосходства соответствуют числовые значения от 1 до 9. Далее для каждого эксперта рассчитываются абсолютные оценки на интервальной шкале. Затем вычисляются разности между соседними оценками, формирующие матрицу интервалов.

В идеально равномерной шкале все элементы этой таблицы равны между собой. Для статистической проверки равномерности проводится двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями [3], где фактором А выступает номер интервала, а фактором Б – эксперт. Проверяется гипотеза о равенстве средних значений всех интервалов на принятом уровне значимости. Если гипотеза подтверждается, шкала признается равномерной и пригодной для использования в качестве интервального измерительного инструмента. В противном случае с помощью дополнительного анализа выявляются проблемные интервалы, после чего соответствующие описания корректируются, и процедура повторяется заново.

Таким образом, предложенный метод обеспечивает создание метрологически обоснованной равномерной шкалы, что позволяет перейти от субъективных порядковых оценок к объективным интервальным измерениям. Это открывает возможность корректного применения математической статистики, повышает достоверность и сопоставимость результатов независимо от состава экспертной группы [2], а также может быть использован при разработке стандартизованных методик оценки качества в различных областях техники.

Литература

1. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
2. Орлов, А. И. Экспертные оценки / А. И. Орлов. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 160 с.
3. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

УДК 006.91

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ МЕДИЦИНСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ

Студент гр. 11305122 Лужинская А. И.

Кандидат техн. наук, доцент Коробко Ю. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В связи с постепенным отказом от ртутных термометров и переходом учреждений здравоохранения на электронные средства измерений температуры тела (диапазон от 32,0 до 43,9 °С, пределы допускаемой погрешности $\pm 0,1 \dots \pm 0,2$ °С) особую актуальность приобретает разработка современных методик их калибровки. Калибровка позволяет установить их действительные метрологические характеристики и обеспечить прослеживаемость результатов измерений к национальным эталонам. Ключевым элементом признания результатов калибровки на международном уровне является оценивание неопределенности измерений в соответствии с руководством ISO/IEC Guide 98-3 [1]. Статья посвящена разработке методики оценивания неопределенности

при калибровке медицинских электронных термометров (на примере отечественных термометров «Интеграл ТЭ–04» и серии МТ «Microlife AG»).

Метод калибровки основан на непосредственном сличении показаний калибруемого термометра с показаниями рабочего эталона 3-го разряда – термометра лабораторного электронного ЛТ–300 (диапазон измерений от –50 до +300 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,05$ °С в интервале до 199,99 °С). Сличение выполняется в термостатируемой среде, создаваемой устройством «Термостат А3» (нестабильность поддержания температуры $\pm 0,01$ °С, неравномерность поля $\pm 0,01$ °С). Измерения проводятся при температуре окружающего воздуха (20 ± 5) °С, относительной влажности (65 ± 15) %, атмосферном давлении 84–106 кПа. Для каждой контрольной точки выполняется не менее десяти независимых наблюдений.

На основе анализа диаграммы причинно-следственных связей разработана математическая модель измерения, учитывающая основные источники неопределенности:

$$\Delta T = \Delta T_{\text{ср}} + \delta_{\text{Тнест}} - \delta_{\text{э}} + \delta_{\text{рк}}, \quad (1)$$

где $\Delta T_{\text{ср}}$ – среднее отклонение показаний калибруемого термометра, полученное из многократных наблюдений (оценивается по типу А); $\delta_{\text{Тнест}}$ – поправка, обусловленная нестабильностью показаний термометра; $\delta_{\text{э}}$ – поправка, связанная с погрешностью эталонного термометра; $\delta_{\text{рк}}$ – поправка, обусловленная дискретностью отсчета (разрешающей способностью) калибруемого термометра. Составляющие, имеющие систематический характер, оцениваются по типу В с использованием прямоугольного распределения. Все входные величины рассматриваются как некоррелированные.

Суммарная стандартная неопределенность $u_c(\Delta T)$ рассчитывается как геометрическая сумма составляющих. Расширенная неопределенность U вычисляется с коэффициентом охвата ($k = 1,65$) для доверительной вероятности 95 %. На основе предложенной модели составлен бюджет неопределенности, позволяющий количественно оценить вклад каждого источника.

Полученные значения расширенной неопределенности не превышают пределов допускаемой абсолютной погрешности калибруемых термометров $\pm(0,1-0,2)$ °С, что подтверждает ее пригодность для практического применения в аккредитованных калибровочных лабораториях [2, 3]. Методика обеспечивает метрологическую прослеживаемость результатов измерений температуры тела к национальным эталонам в соответствии с государственной поверочной схемой [4].

Литература

1. ГОСТ 34100.3–2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – М.: Стандартинформ, 2017. – 104 с.
2. СТБ ISO/IEC 17025–2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – Мн.: Госстандарт, 2019. – 36 с.
3. Правила осуществления метрологической оценки в виде работ по калибровке средств измерений: постановление Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 23 апр. 2022 г., № 42 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Мн., 2022. – URL: pravo.by (дата обращения: 05.01.2026).
4. ГОСТ 8.558–2009. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры. – М.: Стандартинформ, 2009. – 12 с.

УДК 004.032.26

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ КИМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Студент гр. 11305122 Лужинская А. И.

Ст. преподаватель Гомма М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Современные координатно-измерительные машины (КИМ) являются основным средством контроля геометрических параметров сложных деталей в машиностроении. Тенденция к увеличению производительности контроля требует работы КИМ в режиме сканирования с высокими скоростями перемещения измерительной головки. В таких условиях существенное влияние на точность измерений начинают оказывать динамические погрешности, вызванные инерционностью подвижных узлов, упругими деформациями элементов конструкции и вибрациями. Традиционные методы коррекции, основанные на статических калибровках, не способны полностью

скомпенсировать быстроизменяющиеся динамические искажения, что ограничивает область применения скоростных режимов измерения.

Целью работы является повышение точности координатных измерений в динамических режимах путем разработки метода прогностической компенсации погрешностей с применением искусственных нейронных сетей. В отличие от классической фильтрации сигнала, нейросетевой подход позволяет учитывать нелинейный характер динамических искажений и предсказывать их величину на основе анализа предыстории движения измерительной системы.

Сущность предлагаемого метода заключается в построении нейросетевой модели, аппроксимирующей обратную передаточную функцию измерительной системы КИМ. В качестве входных данных для нейронной сети используются текущие координаты, скорости и ускорения перемещения портала и шпинделя, а также сигналы с датчиков измерительной головки. Выходом сети является величина прогнозируемой динамической поправки к показаниям датчиков. Для обучения сети применяется набор данных, полученных при измерении высокоточного аттестованного эталона (например, калиброванной сферы или концевых мер) на различных скоростях и траекториях сканирования. Эталонные значения известны, что позволяет вычислить реальную динамическую погрешность как разность между показаниями КИМ и истинными координатами.

На этапе обучения нейросеть выявляет сложные зависимости между кинематическими параметрами движения и возникающей погрешностью. Архитектура сети выбирается таким образом, чтобы обеспечить высокую скорость обработки данных в реальном времени, например, используются многослойные персептроны небольшой размерности или рекуррентные сети. После обучения нейросетевая модель интегрируется в программное обеспечение КИМ. В процессе рабочего цикла измерения сеть в реальном масштабе времени вычисляет поправку для каждого отсчета, которая алгебраически суммируется с текущими показаниями датчиков, что позволяет существенно снизить динамическую составляющую общей погрешности.

Реализация такого подхода требует учета динамических характеристик конкретной модели КИМ, включая жесткость несущей системы и параметры приводов подач. Важным преимуществом нейросетевой компенсации является ее адаптивность: при изменении условий эксплуатации (например, температуры) или после модернизации узлов машины сеть может быть дообучена на новых данных без изменения аппаратной части.

Таким образом, применение нейросетевых моделей для прогностической компенсации позволяет значительно расширить рабочий диапазон скоростей измерений на КИМ без потери точности. Это открывает возможности для эффективного использования координатно-измерительных машин в автоматизированных производственных линиях и контроле сложнопрофильных деталей, где высокая производительность измерений является критически важным фактором.

Литература

1. Гапшис, В. А. Координатно-измерительные машины и их применение в машиностроении / В. А. Гапшис, А. Ю. Каспарайтис. – Вильнюс: Мокслас, 2019. – 248 с.
2. Хайкин, С. Нейронные сети / С. Хайкин; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 1104 с.
3. Шапорев, В. П. Динамика и точность координатно-измерительных машин / В. П. Шапорев, С. В. Пономарев // Измерительная техника. – 2021. – № 5. – С. 21–26.
4. ISO 10360-1:2021. Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS). – Part 1: Vocabulary. – Geneva: ISO, 2021. – 32 p.

УДК 331.101.3

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСОНАЛА ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН НА БАЗЕ МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Студентка гр. 31305121 Манглиева З. А., студентка гр. 11305123 Маркович П. Л.

Д-р техн. наук, профессор Соломахо В. Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Система энергопотребления Республики Узбекистан представляет собой организационно-технический комплекс, который обеспечивает различными видами энергии разнообразные потребности экономики страны. Основными источниками являются традиционные энергоресурсы, такие как уголь (31 %), природный газ (28 %) и нефть (25 %). Узбекистан обладает значительными запасами природного газа, что позволяет стране активно развивать его использование. Химический состав газа, основным компонентом которого является метан, обеспечивает суще-

ственное превосходство в плане эффективности и экономичности. Благодаря уникальным свойствам, ресурсным возможностям и экологической перспективе, газ становится все более важным компонентом в энергетической стратегии страны. Газ также широко применяется в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также в металлургическом производстве, где служит источником энергии для плавки металла. Еще одним преимуществом использования газа является удобство его хранения и доставки, что обеспечивает быструю и надежную поставку топлива. Газовое оборудование просто в использовании и регулировании, что упрощает его эксплуатацию и позволяет сократить затраты на обслуживание.

Вместе с выделенными преимуществами существуют и риски, связанные с авариями и инцидентами в газовой отрасли (АИ). Годовой ущерб мировой экономики, обусловленный АИ, составляет более 4 миллиардов долларов. Проведение тщательного анализа статистических данных позволяет идентифицировать основные факторы, влияющие на безопасность работ в газовой отрасли и принимать соответствующие меры для улучшения текущих алгоритмов работы. Обеспечение промышленной безопасности на объектах газораспределительной системы на сегодняшний день является одним из приоритетных направлений государственной политики Республики Узбекистан. Анализ статистики АИ позволяет выявить тенденции и предупредить возможные потенциальные угрозы безопасности, которые могут повлиять на стабильность работы отрасли. Имеющиеся данные указывают на следующие основные причины АИ: ошибки при проектировании объектов газотранспортной отрасли; технические ошибки, допущенные на этапе строительства объектов; выход из строя оборудования в ходе его эксплуатации; техногенные катастрофы, обусловленные воздействиями природного характера (землетрясения, цунами, вихри и др.); недостаточная компетентность персонала. Человеческий фактор имеет критическое значение для эффективной и безопасной работы отрасли. Комплексный подход, включающий технические аспекты, осведомленность о рисках, навыки и опыт персонала, а также психологические и эргономические факторы должны рассматриваться в качестве базовых при формировании «модели компетенций» персонала [1]. Поэтому важным направлением работ в области промышленной безопасности является комплексный подход к оценке профессиональных компетенций персонала на основе «модели», характеризующийся не только традиционной оценкой знаний, но и определением уровня достижения профессионально значимых качеств, которые могут выступать «гарантом» безаварийного обслуживания опасных и потенциально опасных производственных объектов. Определение уровня достижения профессиональных компетенций сводится к процессу оценивания персонала путем присвоения качественного и (или) количественного значения каждой компетенции. Профессиональные компетенции по масштабу не локализованы. Но определенный набор профессиональных компетенций присущ любой должностной позиции и/или специальности. Данный вид компетенций представляет собой комплекс базовых (основных) знаний, умений и навыков, а также набор личностных характеристик, необходимых для формирования «модели компетенций», необходимой для эффективной работы на конкретной должностной позиции.

Республика Узбекистан испытывает определенный дефицит кадров в газовой отрасли и вопросы формирования персонала, определения его профессиональных компетенций путем построения «модели» компетенций, алгоритмов оценки компетентности имеют приоритетное значение при реализации систем менеджмента качества.

Литература

1. Салапура, М. Н. Принципы построения компетентностной модели специалиста / М. Н. Салапура // 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: материалы конф., Минск, 22–26 апр. 2019 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Мн.: БГУИР, 2019. – С. 42–44.

УДК 658.562.64

ОБЗОР НАЦИОНАЛЬНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ФАСОВАННЫМ ТОВАРАМ

Магистрант специальности 7-06-0716-01 «Обеспечение качества» Митюшина Ю. С.

Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Фасованные товары – это потребительские товары в упаковках, которые фасованы и упакованы в отсутствие покупателя таким образом, что содержимое упаковки не может быть изменено без ее вскрытия или повреждения. Продажа расфасованного товара является удобным и практичным способом реализации, однако она связана с определенными рисками, основным из которых

является недовложение товара. В целях защиты законных прав и интересов потребителей осуществляется регулирование требований к фасованным товарам, а также предусмотрено проведение контроля количества фасованного товара.

Для разработки комплекса методов (методик) измерений, согласно которым будет осуществляться контроль количества фасованного товара на производстве, необходимо изучить нормативные требования, предъявляемые к фасованной продукции. Это позволит определить показатели, соответствие которым необходимо будет подтвердить при применении методов (методик) измерений.

Требования к фасованным товарам разрабатываются и устанавливаются на всех уровнях стандартизации, начиная от международных рекомендаций и завершая национальными нормативами и стандартами, установленными на уровне предприятий. Одним из основополагающих документов, на основе которого формируются данные требования, является рекомендация Международной организации законодательной метрологии OIML R 87 «Количество продукции в упаковках». На региональном уровне метрологические требования к фасованным товарам регулируются межгосударственным стандартом ГОСТ 8.579-2019 «Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к количеству фасованных товаров при их производстве, фасовании, продаже и импорте». В Республике Беларусь действует государственный стандарт СТБ 8019-2002 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Товары фасованные. Общие требования к количеству товара», а также Положение об установлении требований к определению количества фасованного товара, правилам его указания на упаковке, при производстве (фасовании) и (или) реализации фасованного товара. Требования, изложенные в указанных документах, отражены в нормативной документации, касающейся продукции, реализуемой в расфасованном виде.

В общем случае нормирование требований осуществляется в отношении содержимого отдельных упаковочных единиц, а также в отношении партии фасованного товара. К содержимому упаковочной единицы предъявляют следующее требование: отрицательное отклонение каждой упаковочной единицы должно находиться в пределах допустимых значений, установленных для отрицательных отклонений. Вместе с тем, требования к положительным отклонениям содержимого не регламентированы и при необходимости устанавливаются изготовителем фасованного товара в нормативной документации.

Для партии фасованного товара установлены следующие требования к количеству: среднее значение содержимого партии фасованной продукции должно быть не менее номинального количества продукта; доля не соответствующих упаковочных единиц в партии фасованного товара не должна превышать 2,5 % от общего объема партии; в партии фасованной продукции не допускается наличие упаковочных единиц, у которых индивидуальное отрицательное отклонение равно или превышает величину недовложения, превышающую в два раза допустимый предел отрицательных отклонений.

Установленные требования в Республике Беларусь являются обязательными для соблюдения и подлежат контролю в ходе осуществлении государственного метрологического надзора. По результатам исследования требований к фасованной продукции, определены показатели, подлежащие контролю, которые будут являться основой для разработки комплекса методик измерений. Соблюдение данных требований и организация контроля на должном уровне значительно способствуют формированию позитивной деловой репутации производителей.

Литература

1. OIML R 87:2016. Количество фасованного товара / OIML. – 2017. – 51 с.
2. ГОСТ 8.579-2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к количеству фасованных товаров при их производстве, фасовании, продаже и импорте. – Введ. 01.07.2020. – Мн.: Госстандарт, 2019. – 20 с.
3. О требованиях к определению количества фасованного товара: постановление Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 4 мая 2023 г., № 33; в ред. от 8 окт. 2024 г. № 105 // *ilex*: информ. правовая система. – URL: <https://ilex.by> (дата обращения: 22.02.2026).

УДК 338.45.01

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Студенты группы 11305123 Нежевец Д. И., Акунец Е. В.

Кандидат техн. наук Давыдова Е. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях глобальной трансформации мировой энергетики и усиления климатической повестки повышение энергетической эффективности продукции становится одним из ключевых направлений технического регулирования. Для государств – членов Евразийского экономического союза (ЕАЭС) формирование единых требований в данной сфере является не только инструментом модернизации промышленности, но и фактором углубления экономической интеграции [1].

Базовым нормативным актом в рассматриваемой области является технический регламент ТР ЕАЭС 048/2019 «О требованиях к энергетической эффективности энергопотребляющих устройств» [2]. Документ устанавливает обязательные показатели энергоэффективности, правила их подтверждения и требования к маркировке продукции, обращающейся на общем рынке. Его принятие направлено на снижение энергоемкости экономики, повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции и формирование единых условий доступа товаров на рынок ЕАЭС.

Внедрение требований к энергетической эффективности осложняется различиями в промышленной структуре стран ЕАЭС, уровне технологического развития, степени модернизации производственных мощностей и состоянии испытательной инфраструктуры. Так, наблюдается неоднородность отраслевой специализации: одни страны ориентированы на машиностроение, другие – на сырьевые и энергоемкие производства, что обуславливает неодинаковую готовность предприятий к выполнению требований энергоэффективности. Введение унифицированных норм может создавать неравномерную регуляторную нагрузку, требовать инвестиций в модернизацию оборудования и проведение испытаний, повышая издержки производителей.

Особую значимость приобретает проблема адаптации регламента к динамично изменяющимся международным и европейским требованиям [3]. Европейская система экологического проектирования и энергетической маркировки регулярно обновляется, это обуславливает необходимость корректировки норм и методик оценки соответствия.

Таким образом, исследование проблем внедрения требований к энергетической эффективности в ЕАЭС является актуальным и научно значимым. Анализ данных вопросов позволяет выявить институциональные и технологические барьеры реализации требований технических регламентов, определить механизм совершенствования межгосударственной координации и сформировать предложения по обеспечению баланса между задачами энергетической политики и промышленного развития.

Литература

1. Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК): официальный сайт. – URL: <https://eec.eaeunion.org/> (дата обращения: 05.01.2026).
2. О требованиях к энергетической эффективности энергопотребляющих устройств: ТР ЕАЭС 048/2019: принят Решением Совета Евраз. экон. комиссии, 8 авг. 2019 г., № 114 // Евразийская экономическая комиссия: официальный сайт. – URL: <https://eec.eaeunion.org/> (дата обращения: 05.01.2026).
3. European Commission: official website. – URL: <https://ec.europa.eu/> (date of access: 05.01.2026).

УДК 621.317.322

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Магистрант гр. 61331024 Панько В. В.

Кандидат техн. наук, доцент Соколовский С. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Обеспечение единства измерений в области магнитных полей, а также точности и достоверности результатов измерений, удовлетворяющих требованиям современной практики, является критически важным для различных отраслей промышленности и науки.

В рамках выполнения задания по модернизации Национального эталона единицы напряженности магнитного поля были проведены исследования метрологических характеристик аппаратной части эталона единицы напряженности магнитного поля (НМП) промышленной частоты. Целью данной работы являлось экспериментальное определение диапазона и погрешности воспроизведения единицы НМП модернизированным эталоном, а также оценка ослабления фоновых магнитных полей введенной в состав модернизированного эталона специально разработанной экранирующей камерой.

Исследования проводились при контролируемых условиях окружающей среды. Для измерений использовались компараторы магнитного поля ПЗ-61ПМ/2 и ПЗ-61ПМ/1.

На первом этапе выполнялась оценка ослабления переменного магнитного поля экранирующей камерой в полосе частот от 5 до 2000 Гц дифференциальным методом. Ослабление определялось как разность между значениями измеряемой напряженности в экранирующей камере и помещении лаборатории.

Таблица 1 – Результаты измерений ослабления экранирующей камеры

Средство измерений	Среднее арифметическое измеренных значений НМП, мА/м	
	в помещении лаборатории	в экранирующей камере
Компаратор магнитного поля ПЗ-61ПМ/2 для измерения НМП в диапазоне частот 5-2000 Гц	59,3	18,4
Компаратор магнитного поля ПЗ-61ПМ/1 для измерения НМП частотой 50 Гц	0,063	0,027

Результаты суточных наблюдений (см. таблицу 1) показали, что уровень магнитного поля внутри камеры более чем в два раза ниже уровня внешнего фона в лаборатории, что подтверждает соответствие экранирующих свойств камеры требованиям технического задания.

Основной этап исследований заключался в определении диапазона и относительной погрешности воспроизведения единицы НМП промышленной частоты (50 Гц). Измерения проводились в направлении двух взаимно перпендикулярных осей (Oy и Ox) в диапазоне от 0,1 А/м до 7 000 А/м. Методика основывалась на сравнении показаний компаратора магнитного поля, установленного в рабочем объеме полеобразующей системы, с его калиброванными значениями. Обработка результатов измерений выполнялась в соответствии с ГОСТ 34100.3-2017. Проведен анализ неопределенности измерений с учетом дискретности отображения результатов блоком управления, взаимодействия компаратора с полеобразующей системой, неточности установки антенны, а также неопределенности коэффициента преобразования компаратора, полученной при его калибровке по государственным эталонам Российской Федерации.

В результате экспериментальных исследований получены следующие данные:

1. Для оси Oy погрешность воспроизведения единицы НМП находится в пределах от $-0,93\%$ до $+0,64\%$. Расширенная неопределенность ($k = 2$, $P = 0,95$) составила от $4,20\%$ до $4,27\%$.
2. Для оси Ox погрешность воспроизведения единицы НМП находится в пределах от $-1,42\%$ до $+3,38\%$. Расширенная неопределенность ($k = 2$, $P = 0,95$) составила от $4,20\%$ до $4,21\%$.

Метрологические характеристики модернизированного эталона (относительная погрешность, расширенная неопределенность воспроизведения единицы НМП, а также эффективность экранирующей камеры) соответствуют требованиям технического задания. Аппаратная часть эталона рекомендована для обеспечения единства измерений НМП в Республике Беларусь.

УДК 681.785.64:535.317

**АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ
НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ НАЦИОНАЛЬНОГО
ЭТАЛОНА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Магистрант гр. 61331024 Панько В. В.

Кандидат техн. наук, доцент Соколовский С. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

По мере развития науки и техники, ускорения научно-технического прогресса, количество технических объектов, питаемых от электрической сети, как в быту, так и в сфере материального производства, неуклонно растет. Все составляющие системы электроснабжения являются источниками электрических и магнитных полей, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на человека. Когда человек постоянно подвергается воздействию электромагнитного фона, превышающего допустимый уровень, страдают иммунная, сердечно-сосудистая, дыхательная системы, наблюдается негативное влияние на генетическом уровне.

Чтобы ограничить такое воздействие, разработаны соответствующие технические нормативные правовые акты, в которых регламентированы биологически опасные уровни электромагнитных полей, санитарные правила и нормы для защиты населения. Необходимость контроля соблюдения требований, установленных этими документами, привела к тому, что в настоящее время в различных сферах используется большое разнообразие средств измерений параметров электромагнитных полей, которые требуют проведения работ по их метрологической оценке. При этом по мере пополнения парка таких средств измерений, расширения их метрологических возможностей, требования к такой оценке возрастают, что в конечном итоге вызывает необходимость совершенствования необходимой эталонной базы.

В настоящее время для обеспечения метрологической прослеживаемости в области измерений напряженности магнитного поля на территории Республики Беларусь используется Национальный эталон единицы напряженности магнитного поля НЭ РБ 59-20, который был разработан в ходе выполнения научно-технической программы «Эталоны Беларуси» и введен в эксплуатацию в 2020 году. Практика эксплуатации данного эталона привела к выводу о необходимости проведения его модернизации в направлении расширения метрологических возможностей. Для этого в первую очередь требуется провести его структурно-функциональный анализ.

Принцип действия эталона основан на возбуждении однородного магнитного поля в пространстве между катушками полеобразующей системы, построенной на основе колец Гельмгольца (КГ). Величина напряженности магнитного поля определяется током, протекающим через катушки колец Гельмгольца. КГ обладают определенными геометрическими характеристиками. Воспроизводимая напряженность магнитного поля и ток в катушках КГ связаны соотношением

$$H=K \cdot I, \quad (1)$$

где H – напряженность магнитного поля в А/м; K – коэффициент преобразования КГ в 1/м; I – ток, протекающий через катушки КГ в А.

Исходя из принципиальной схемы анализируемого эталона и его функциональных особенностей, можно сделать вывод, что основными источниками возникновения погрешности воспроизведения напряженности однородного магнитного поля являются:

- неравномерности частотной характеристики эталона;
- неравномерности амплитудной характеристики эталона;
- неопределенность измерений, вызванная взаимодействием измерителя параметров магнитного поля с кольцами излучающего блока эталона;
- неопределенность измерений, вызванная неточностью установки измерителя параметров магнитного поля в центр рабочей зоны излучающего блока эталона;
- неопределенность измерений градуировочного коэффициента измерителя параметров магнитного поля;
- влияние внешних переменных низкочастотных магнитных полей.

Анализ влияния выделенных источников погрешности эталона показал, что для повышения его точностных возможностей в первую очередь необходимо попытаться ограничить влияние внешних переменных низкочастотных магнитных полей. С этой целью было принято решение оснастить эталон специальной экранирующей камерой, защищающей полеобразующую систему от воздействия внешних переменных низкочастотных магнитных полей. Такая камера призвана

снизить неисключенную систематической погрешность воспроизведения и передачи единицы НМП. Кроме этого, предстоит работа над улучшением характеристик электрической сети, питающей полеобразующую систему.

УДК 658.562.6

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ

Студент гр. 31305122 Рахмонова С.

Кандидат техн. наук Давыдова Е. А., кандидат техн. наук Чуешков В. В.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Президент Узбекистана 18 апреля 2025 г. подписал указ о мерах по стимулированию производства, экспорта и предпринимательской деятельности, а также повышению эффективности торгово-промышленной политики [1]. Согласно документу, порядок определения таможенной стоимости ввозимых товаров будет приведен в полное соответствие с международными нормами – Генеральным соглашением по тарифам и торговле (ГАТТ).

С 1 мая 2025 г. отменено требование регистрировать декларации о соответствии в сертификационных органах – они будут оформляться и учитываться через электронную систему TRIS (Техническое регулирование и информационная система), а с 1-го августа 2025 г. технические регламенты и стандарты на продукты питания утратили обязательную силу. Вместо них будут действуют санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы, адаптированные по основным видам продовольствия к международным требованиям, в том числе к директивам Кодекса Алиментариус.

Список товаров, подлежащих обязательной сертификации в Узбекистане, существенно сокращен. Вместо этого внедрена система декларации соответствия продукции. Для импорта оборудования, сырья, специальной техники и транспорта будут разработаны критерии признания высококачественных и проверенных зарубежных систем контроля, признаваемых в Узбекистане, соответственно и требование о получении национального сертификата не применяется.

Также с 1 мая 2025 г. продукция и услуги официально маркируются знаком «Халяль» [2]. Введены правила, связанные с сертификацией продукции и услуг в соответствии со стандартами, принятыми Институтом стандартов и метрологии исламских стран (SMPC).

Агентство Узбекистана по техническому регулированию совместно с Комитетом по делам религий должно:

- аккредитовать орган по сертификации продуктов и услуг на соответствие требованиям «Халяль» при государственном учреждении в системе агентства с привлечением международно признанных организаций;
- повысить квалификацию специалистов, участвующих в сертификации, а также организовать для них тренинги и семинары;
- разработать и утвердить проект стандарта, определяющего форму и размеры знака «Халяль»;
- оказывать поддержку предпринимательским субъектам в создании органов по сертификации продуктов и услуг на соответствие требованиям «Халяль».

Совершенствование национальной системы оценки соответствия направлено на решение проблемы в сфере сертификации и регистрации продукции, которые мешают предпринимательской деятельности и сдерживают экспортный потенциал страны.

Литература

1. Процедуру упростят, но контроль усилят. Как реформируют сферу сертификации в Узбекистане // Gazeta.uz. – URL: <https://www.gazeta.uz/ru/2025/04/18/standards/> (дата обращения: 26.02.2026).
2. В Узбекистане вводится порядок сертификации товаров и услуг по стандартам «Халяль» // Gazeta.uz. – URL: <https://www.gazeta.uz/ru/2025/02/04/halal-certification/> (дата обращения: 05.01.2026).

УДК 351.824

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЬНОЙ (НАДЗОРНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РЫНКАХ

Магистрант гр. 61331024 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 Призединта Республики Беларусь от 06 июня 2025 г. № 227 «О повышении эффективности контрольной (надзорной) деятельности» [1]. В соответствии с вышеуказанным документом государственный контроль (надзор) осуществляется в формах: выборочных и внеплановых проверок; мероприятий технического (технологического, поверочного) характера и мониторингов.

Контролирующий (надзорный) орган при осуществлении государственного контроля (надзора) обязан ознакомить субъект (проверяемый субъект) с предписанием на проведение проверки, решением о проведении мониторинга, мероприятия технического (технологического, поверочного) характера. Субъект (проверяемый субъект) вправе вести учет проводимых в отношении его проверок, мероприятий технического (технологического, поверочного) характера, мониторингов, а также иных посещений должностными лицами контролирующих (надзорных) органов [1]. Осуществление общественного контроля в форме проведения проверок другими организациями, кроме профессиональных союзов, их организационных структур, объединений таких союзов и их организационных структур, а также физическими лицами запрещается. Незаконное вмешательство в деятельность субъекта (проверяемого субъекта) запрещается и влечет привлечение должностных лиц, контролирующих (надзорных) органов к установленной законодательными актами ответственности.

По совершенствованию контрольной и надзорной деятельности на рынках установлено:

1. Смещение акцента на профилактику: важным аспектом совершенствования контрольной и надзорной деятельности является переход от карательных мер к профилактическим. Это включает в себя проведение семинаров, круглых столов, встречи в трудовых коллективах, диалоговые площадки, что помогает предотвратить нарушения до их возникновения. Переход от карательных мер к профилактическим в контрольной (надзорной) деятельности направлен на снижение административного давления на бизнес и повышение эффективности контроля.

2. Оптимизация процедур проверок: для уменьшения административной нагрузки на бизнес необходимо сократить количество внеплановых проверок. Это может быть достигнуто через формирование системы оценки риска, при котором отбор субъектов для включения в планы выборочных проверок осуществляется на основании критериев оценки степени риска для отбора проверяемых субъектов. Разработка критериев для оценки рисков, использование автоматизированных систем для планирования проверок, сокращение времени на проведение проверок. Контрольные мероприятия сосредотачиваются на областях с наибольшими рисками для безопасности граждан.

3. Повышения квалификации контролирующих (надзорных) органов: регулярное обучение и повышение квалификации сотрудников контролирующих (надзорных) органов, а также обмен опытом способствует улучшению качества проверок и снижению коррупционных рисков. Важно также внедрять современные методы управления и оценки эффективности работы контролеров. Организация курсов и тренингов для сотрудников, внедрение современных методов управления и оценки эффективности работы контролеров, проведение аттестаций и сертификаций.

4. Противодействие коррупции: цифровизация контрольной (надзорной) деятельности помогает снизить уровень коррупции за счет своей прозрачности и автоматизации процессов.

Контрольная (надзорная) деятельность на рынках является ключевым инструментом обеспечения справедливой конкурентной среды, защиты прав потребителей и предотвращения финансовых рисков. Эффективный надзор способствует повышению прозрачности рыночных операций, снижению уровня мошенничества и манипуляций, а также укреплению доверия инвесторов. В условиях глобализации и цифровизации экономики важность интеграции современных технологий в контрольные механизмы становится особенно актуальной, что позволяет оперативно реагировать на угрозы в рыночной среде.

Литература

1. О повышении эффективности контрольной (надзорной) деятельности: Указ Президента Респ. Беларусь, 6 июня 2025 г., № 227 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 15.03.2026).

УДК 389.14:005.32

КОМПЕТЕНТНОСТЬ ПЕРСОНАЛА КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Магистрант гр. 7-06-0716-01 Сафроненкова В. С.

Кандидат техн. наук Давыдова Е. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

В условиях гармонизации национальной системы обеспечения единства измерений с международными требованиями проблема достоверности результатов поверки средств измерений приобретает особую значимость. Поверка как процедура установления пригодности средства измерения к применению непосредственно влияет на качество выпускаемой продукции, безопасность производственных процессов и объективность результатов испытаний. Поверка средств измерений выступает ключевым механизмом поддержания метрологической прослеживаемости результатов измерений. Достоверность результатов поверки напрямую зависит не только от эталонной базы и методик выполнения измерений, но и от человеческого фактора. Таким ключевым фактором, определяющим достоверность поверки, выступает компетентность персонала – поверителей, чья квалификация, профессиональные знания и практические навыки являются основой получения объективных и воспроизводимых результатов.

Компетентность персонала в метрологической деятельности представляет собой способность применять знания и навыки для достижения запланированных результатов. Применительно к поверителям средств измерений компетентность включает: знание законодательства об обеспечении единства измерений, понимание физических принципов работы средств измерений, владение методиками поверки, умение работать с эталонным оборудованием, способность оценивать неопределенность (погрешность) измерений, навыки оформления результатов поверки. Согласно СТБ 2542-2021 [1] персонал (поверители) должен обладать необходимой компетентностью, профильным образованием, опытом работы, подтвержденной квалификацией и проходить регулярное обучение для проведения поверки средств измерений. Компетентность поверителя должна быть документально подтверждена, что его знания и навыки, необходимые для выполнения конкретных видов поверочных работ, достаточны. Персонал должен иметь профильное высшее или среднее специальное образование, соответствующее направлению деятельности поверочной лаборатории. Для подтверждения компетентности специалисты должны обладать практическим стажем работы в области метрологии или поверки средств измерений. Персонал поверочной лаборатории обязан регулярно проходить обучение, курсы повышения квалификации и проверку знаний, особенно при внедрении новых методов поверки или оборудования. Организации, оказывающие метрологические услуги по поверке средств измерений, обязательно должны проводить регулярный мониторинг и оценку деятельности персонала для подтверждения их способности выдавать достоверные результаты измерений.

Базовым документом, устанавливающим порядок подтверждения квалификации персонала, является СТБ 5.1.14-2009 [2], который гармонизирует национальные требования с международными подходами. Действующая система сертификации персонала устанавливает жесткие барьеры для допуска к поверочной деятельности. Квалификационные требования включают стаж работы, профильное образование, подготовку к сдаче квалификационного экзамена и непосредственно сдачу квалификационного экзамена.

Процедура оценки в виде квалификационного экзамена включает три этапа: общий экзамен в виде тестирования теоретических знаний нормативной базы, специальный экзамен – оценка знаний по конкретным методикам поверки и практический экзамен, включающий демонстрацию навыков работы с эталонами и оборудованием.

Современная тенденция обеспечения качества поверки базируется не только на начальной сертификации, но и на постоянном подтверждении компетентности. Согласно требованиям, предъявляемым к лабораториям, уполномоченные юридические лица обязаны участвовать в программах сличений результатов измерений. Программа таких сличений формируется для оценки

точности и сопоставимости результатов поверки между различными лабораториями, что позволяет выявить систематические ошибки персонала и минимизировать риски при проведении поверки средств измерений.

Литература

1. СТБ 2542-2021. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Лаборатории поверочные. Общие требования. – Введ. 01.08.2022. – Мн.: Госстандарт: БелГИМ, 2021. – 20 с.
2. СТБ 5.1.14-2009. Национальная система подтверждения Республики Беларусь. Сертификация персонала в области поверки средств измерений. Общие требования. – Введ. 01.09.2009. – Мн.: Госстандарт: БГИПК по стандартизации, метрологии и управлению качеством, 2009. – 17 с.

УДК 006.91

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИЗМЕРЕНИЙ В РАМКАХ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Студент гр. 11305122 Селятыцкий А. А.

Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Система менеджмента качества (СМК) является фундаментом развития предприятий, особенно в условиях конкуренции. Основная задача СМК состоит в удовлетворенности потребителей, выпуска продукции, закрывающей их ожидания. В соответствии с этим, СМК формирует цели, идентифицирует процессы, определяет их границы, взаимодействия и обеспечивает необходимыми ресурсами, для создания стабильного производства продукции с заданными характеристиками.

С целью сбора и анализа информации о продукции и процессах в рамках СМК должна быть развернута самостоятельная подсистема, называемая системой менеджмента измерений (СМИ). Их взаимодействие следующее: СМК определяет перечень показателей качества продукции и процессов, подлежащих контролю, испытаниям и управлению по их результатам. Перечень показателей формируется исходя из конструкторских и технологических требований, нормативной документации, конкретных требований потребителя, рисков недостижения целей. Задача их метрологического обеспечения всего массива показателей является главной для СМИ как подсистемы СМК.

В докладе обосновано, что СМИ должна быть построена по тем же правилам, что и СМК. Корректное построение СМИ дает уверенность предприятию в том, что все параметры будут контролироваться корректно, руководство организации будет получать достоверную информацию и на их основе формировать эффективные управленческие решения. Формирование СМИ, также, как и СМК должно начинаться сверху вниз: высшее руководство создает метрологическую службу, которой ставит задачу создания, внедрения и улучшения СМИ организации.

Метрологическая служба выступает исполнительным звеном СМИ. Полномочия и ответственность построения МС возлагается, очевидно, на главного метролога предприятия. Главный метролог, ответственный исполнитель разработки, внедрения, поддержания и совершенствования СМИ организации. В его функции входит формирование организационной структуры метрологической службы. Исходными данными для этого выступает комплекс показателей качества продукции и процессов, определенный при создании СМК. Главный метролог определяет структурные подразделения, в которых оптимально будут развернуты ресурсы, необходимые для удовлетворения потребности организации в получении достоверной информации о показателях комплекса. Каждое структурное подразделение (лаборатория) получает множество показателей из комплекса, которое оно должно метрологически обеспечить. Назначаются руководители структурных подразделений метрологической службы, локальной задачей для которых является создание оптимального парка систем измерения, позволяющего обеспечить контроль и испытания предписанного множества показателей. Инженеры-метрологи лаборатории решают задачу разработки, валидации, управления и совершенствования систем измерений, обеспечивающих контроль или испытания группы однородных показателей. Для решения этого рода задач рационально использовать СТБ 2450-2016.

В докладе обоснован механизм иерархического моделирования СМИ и определены инструменты для ее создания. Предложен алгоритм моделирования, обеспечивающий адекватность системы, ее полезность для достижения целей в области качества.

Литература

1. СТБ ISO 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 01.06.2015. – Мн.: Госстандарт, 2015. – 33 с.
2. СТБ ИСО 10012-2004. Системы управления измерениями. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию. – Введ. 01.01.2005. – Мн.: Госстандарт, 2004. – 28 с.
3. СТБ 2450-2016. Системы менеджмента. Менеджмент измерений. Анализ измерительных систем. – Введ. 01.09.2016. – Мн.: Госстандарт, 2016. – 258 с.

УДК 004.66

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ АНАЛИТИКА И ПРЕДИКАТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Студент гр. 11305122 Селятыцкий А. А.

Ст. преподаватель Гомма М. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Координатно-измерительные машины (КИМ) являются неотъемлемой частью современного производства, обеспечивая повышенную точность контроля геометрических деталей. Но особенность работы этих электромеханических устройств прослеживается в вопросах обслуживания, точные КИМ требуют не менее точного подхода к их обслуживанию. Традиционные подходы, включающие в себя настройку КИМ после обнаружения поломки или обслуживание по календарю, перестает отвечать требованиям Индустрии 4.0.

На смену им, все чаще можно увидеть использование предиктивного (предсказательного) обслуживания. Это подход основан на непрерывном мониторинге состояния оборудования и прогнозирование момента отказа. Для КИМ, где внезапная потеря точности или поломка могут парализовать весь цикл контроля качества, этот подход становится не просто преимуществом, а жизненной необходимостью.

Главная роль предиктивного обслуживания заключается в обеспечении метрологической надежности – гарантии того, что машина в любой момент времени способна выполнять измерения с заявленной точностью. Это достигается за счет непрерывного диалога между физической машиной и ее цифровой моделью, где анализируются малейшие отклонения в работе узлов.

Внедрение систем предиктивного обслуживания для КИМ направлено на решение целого комплекса взаимосвязанных задач:

Мониторинг критических узлов в реальном времени. Непрерывный сбор данных с сенсоров, установленных на порталах, шпинделях и приводах КИМ. Анализируются параметры вибрации, температуры, потребляемого тока, акустической эмиссии.

Раннее обнаружение деградации и аномалий. Выявление отклонений от нормальных паттернов работы, которые были записаны после калибровки новой машины. Это позволяет обнаружить зарождающиеся дефекты направляющих, износ подшипников или люфты в передачах на самой ранней стадии.

Прогнозирование остаточного ресурса. Использование накопленных данных и машинного обучения для расчета оставшегося срока службы компонентов до критического отказа или потери точности.

Диагностика первопричин отказов. Анализ исторических данных о работе КИМ, сопоставление их с журналами отказов и условиями эксплуатации позволяет выявить скрытые корреляции и устранить глубинные причины проблем.

Потеря точности КИМ или ее поломка в разгар производственной смены приводит к непредвиденным последствиям. Это не только стоимость дорогостоящего ремонта, но и колоссальные потери от простоя производства, срыва сроков поставки и выпуска потенциального брака, который мог быть пропущен неоткалиброванной машиной. Поддержание КИМ в оптимальном техническом состоянии напрямую влияет на стабильность и достоверность результатов контроля. Снижается риск систематической погрешности из-за износа механики.

Совокупная стоимость владения современной КИМ включает в себя не только цену покупки, но и затраты на ее эксплуатацию и обслуживание на протяжении всего срока службы. Предиктивное обслуживание единственная стратегия, позволяющая минимизировать эти затраты, одновременно максимизируя отдачу от использования машины (коэффициент полезного действия). Хотя предиктивное обслуживание требует первоначальных инвестиций, в долгосрочной перспективе оно экономит средства за счет отказа от избыточных плановых ремонтов и замены деталей только по факту необходимости

Для современного предприятия, стремящегося к лидерству в качестве и эффективности, внедрение таких систем для своего парка КИМ является важным шагом, обеспечивающей безопасность, надежность и конкурентоспособность в эпоху Индустрии 4.0.

Литература

1. Клюев, В. В. Неразрушающий контроль и техническая диагностика: справочник / В. В. Клюев. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
2. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
3. Проников, А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
4. ГОСТ Р 72328-2025. Цифровая станкоинструментальная промышленность. Мониторинг технологического оборудования. Предиктивная диагностика. Общие положения. – М.: Российский институт стандартизации, 2025. – 12 с.

УДК 621.317.1

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ БЛОКА ПИТАНИЯ КОМПЬЮТЕРА

Студент гр. 11305122 Селятыцкий А. А.

Кандидат техн. наук, доцент Коробко Ю. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Блок питания компьютера (БП) является фундаментальным элементом любого персонального компьютера (ПК), отвечающим за преобразование переменного напряжения электросети в стабилизированные постоянные напряжения, необходимых для его функционирования. От качества изготовления БП и его возможности вырабатывать стабильные питающие компьютер напряжения зависит стабильность работы компьютерной системы в целом, а также долговечность ее комплектующих, энергоэффективность и т. п. Следует также отметить, что сегодня изготовлением БП занимаются различные многочисленные производители, известные и не очень, как отечественные, так и иностранные, которые порой предлагают продукцию сомнительного качества. В связи с этим остро стоит вопрос об испытании БП по различным параметрам и принятии решения о возможности их использования в РБ [1].

БП выполняет три главные функции: выпрямление сетевого напряжения, его понижение до требуемых значений и его стабилизацию. Несмотря на это, контроль этих характеристик требует строгого метрологического подхода. Оценка неопределенности измерений является обязательной процедурой для аккредитованных лабораторий, так как она показывает степень достоверности полученного результата и позволяет корректно интерпретировать соответствие продукции требованиям стандартов.

В статье предлагается оригинальная методика оценивания неопределенности измерений при испытании БП на номинальный ток. Определение неопределенности методики измерения БП, в частности оценка номинального тока, базируется на анализе входных величин, на основании их составляется математическая модель измерения. Описание процедуры обработки результатов измерений состоит из оценки значений входных величин, стандартных неопределенностей по типу А, стандартных неопределенностей по типу В, анализа корреляций, составлению бюджета неопределенностей, расчет оценки выходной величины, расчет суммарной стандартной и расширенной неопределенностей.

Независимо от диапазона частот электрический ток можно определить, используя как прямые, так и косвенные измерения. При прямых амперметр включается последовательно с нагрузкой, а при косвенных измерениях последовательно с нагрузкой включается образцовый резистор, на котором измеряется падение напряжения. В обоих случаях изменяется режим электрической цепи, что приводит к появлению методической погрешности. В результате анализа входных

величин разработана диаграммы причинно-следственной связи (рисунок 1) и предложена математическая модель процесса измерения тока при испытаниях с использованием современного типового цифрового амперметра (1).

$$I = I_{\text{изм}} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 \quad (1)$$

Рис. 1. Диаграммы причинно-следственной связи:

I – измеряемое значение потребляемого тока; $I_{\text{изм}}$ – измеренное значение номинального тока, А;
 δ_1 – поправка, учитывающая погрешность квантования; δ_2 – поправка, связанная с температурой окружающей среды; δ_3 – поправка, учитывающая погрешность кварцевого генератора; δ_4 – поправка, учитывающая погрешность установленного значения номинального напряжения питания объекта; δ_5 – поправка, учитывающая методическую погрешность амперметра

Полученные данные анализируются согласно методике оценки неопределенности GUM описанной в ГОСТ 34100.3–2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения», который гармонизирован с международным документом ISO/IEC Guide 98-3 [2], в результате формируется бюджет неопределенности. Составленный бюджет показывает наибольший вклад в неопределенность вносит инструментальная погрешность амперметра.

В результате, предлагаемой в докладе методика оценки неопределенности, может быть успешно использована в испытательных лабораториях и взята за основу для разработки других аналогичных методик.

Литература

1. О безопасности низковольтного оборудования: ТР ТС 004/2011: принят Решением Комиссии Таможенного союза, 16 авг. 2011 г., № 768 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902299536> (дата обращения: 15.03.2026).
2. ГОСТ 34100.3–2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. – Введ. 01.09.2018. – М.: Стандартинформ, 2017. – 116 с.

УДК 006.9

ИСКЛЮЧЕНИЕ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ (ПРОМАХОВ) В РЕЗУЛЬТАТАХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПРИБОРОВ ТЕПЛОВОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ «ТКА-ИТО»

Магистрант гр.61331025 Старовойтова В. Г.

Д-р техн. наук, профессор Серенков П. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Измерение тепловой (инфракрасной) облученности является важной задачей метрологического обеспечения в области охраны труда, промышленной безопасности и гигиенической оценки микроклимата рабочих мест. Результаты таких измерений используются при классификации условий труда, оценке теплового стресса.

В связи с особенностями теплового принципа действия прибора марки «ТКА-ИТО» и возникающими при его эксплуатации погрешностями, решение задач по обработке и оценке результатов измерений становится особенно важным. Грубые погрешности, возникающие из-за инерционности, дрейфа показаний и влияния фона, могут значительно искажать реальные значения тепловой облученности. В результате, без корректировок и правильных методов анализа, точность и достоверность измерений снижаются. В докладе обоснован подход минимизации грубых погрешностей для прибора марки «ТКА-ИТО», основанный на применении критерия Диксона.

Критерий Диксона. Для выявления одиночных грубых погрешностей применялся критерий Диксона. Для отсортированной выборки из n значений вычислялись:

$$Q_{max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}, \quad Q_{min} = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}, \quad (1)$$

где x_{max} и x_{min} – максимальное и минимальное значение выборки.

Полученные значения сравнивались с табличным критическим значением $Q_{кр}$ при доверительной вероятности 0,95. При условии $Q > Q_{кр}$ соответствующее значение признавалось грубой погрешностью и исключалось из выборки.

3400	3562	среднее-значение	н	н
3450	4000	максимальное-значение	н	н
3470	3400	минимальное-значение	н	н
3490	600	размах	н	н
3520	0,168445	Ротн	н	н
3540	н	н	н	н
3570	н	н	н	н
3580	0,666667	н	н	н
3600	н	н	н	н
4000	н	н	н	н

Рис. 1. Расчет экспериментального значения (Q-статика)

Для выборки из 10 элементов при уровне значимости 0,05 критическое значение Диксона составляет 0,412. Так как $Q_{эсп}(0,667) > Q_{табл}(0,412)$, значение 4 000 является статистическим выбросом и должно быть исключено или перепроверено.

3400	
3450	
3470	
3490	
3520	
3540	
3570	
3580	0,1
3600	

Рис. 2. Повторный анализ

Так как $0,100 < 0,44$, значение 3 600 является корректным и остается в выборке. В результате применения критерия Диксона выявлен и исключен один грубый промах (значение 4 000). Оставшаяся совокупность данных из 9 элементов признана статистически однородной.

Вывод: Проведенное исследование показало, что наличие одиночных грубых погрешностей в результатах измерений тепловой облученности, полученных с помощью приборов серии «ТКА ИТО», существенно искажает итоговое значение измеряемой величины. Применение критерия Диксона позволило определить и исключить выбросное значение.

Литература

1. ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ. 01.01.1989. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 78 с.
2. МВИ.МН 6147–2019. Интенсивность инфракрасного излучения. Методика выполнения измерений. – Минск: БелГИМ, 2019. – 12 с.
3. Измеритель тепловой облученности ТКА-ИТО. Паспорт и руководство по эксплуатации / ООО «НТМ-Защита». – URL: <http://ntm.spb.ru> (дата обращения: 05.03.2026).

УДК 658.51

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОАО «АМКАДОР»

Студент гр. 11305122 Тихонова Е. А.

Кандидат техн. наук, доцент Спесивцева Ю. Б.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ОАО «Амкодор» – один из ведущих производителей дорожно-строительной, коммунальной и сельскохозяйственной техники. Предприятие характеризуется сложной производственной структурой и многоэтапными технологическими процессами. В условиях масштабного импортозамещения и расширения модельного ряда спецтехники, ОАО «Амкодор» сталкивается с необходимостью повышения гибкости производства. Переход от традиционных методов управления к концепции бережливого производства (Lean Production) позволяет оптимизировать затраты и сократить время вывода новой техники на рынок [1].

Бережливое производство [2] представляет собой систему организации производства, ориентированную на создание ценности для потребителя при минимизации всех видов потерь (перепроизводство, излишние запасы, ожидание, лишние перемещения, дефекты и др.). Для машиностроительного предприятия применение инструментов Lean позволяет повысить производительность труда и сократить издержки.

Для ОАО «Амкодор» характерны сложные технологические маршруты, дорогостоящее оборудование и высокая материалоемкость. Проблемные области предприятия могут быть нивелированы набором инструментов: организация пространства (5S), оптимизация процессов (VSM, Kaizen, Kanban) и эффективность оборудования (SMED, TPM). Учитывая габариты комплектующих (мосты, гидравлические блоки), организация рабочих мест по системе 5S важна для минимизации лишних перемещений грузоподъемной техники и обеспечения высокого уровня промышленной безопасности. Картирование потока создания ценности (VSM) позволяет сократить время производственного цикла и оптимизировать материальные потоки, выявляя «узкие места» в производственном процессе и избыточные запасы. В условиях длинного производственного цикла (от сварки рамы до сборки кабины) картирование позволит выявить лишние перемещения техники и персонала, нерациональные маршруты поставки комплектующих, рассчитать время обработки и время ожидания, может стать основой для разработки плана мероприятий по улучшениям. Тяжелое машиностроение потребляет много энергии, в карту потока можно добавить показатели энергопотребления. Для минимизации ошибок людей, вызванных усталостью или избытком данных, целесообразно внедрить механизмы оптимизации информационного потока. Kaizen – непрерывное улучшение процессов с вовлечением персонала с целью формирования культуры постоянных улучшений и снижения операционных потерь за счет инициатив работников. ОАО «Амкодор» активно переходит на собственную компонентную базу, Kaizen-предложения стоит направить на адаптацию техпроцессов под новые материалы и узлы собственного производства. Внедрение системы визуального управления Kanban в сочетании с оптимизацией складских запасов обеспечит существенное сокращение незавершенного производства и позволит достичь синхронизации производственных циклов между предприятиями холдинга. Широкая номенклатура продукции требует частой переналадки прессового и механообрабатывающего оборудования. Внедрение быстрой переналадки SMED позволяет выпускать детали малыми партиями под конкретный заказ без роста себестоимости. TPM (Total Productive Maintenance) на ОАО «Амкодор» должно фокусироваться на станках с ЧПУ, которые производят детали гидравлики, т. к. любая поломка останавливает всю цепочку сборки.

Максимальный результат будет достигнут не за счет механического внедрения разрозненных техник бережливого производства, а через их системную интеграцию, создающую кумулятивный эффект для всей производственной цепочки. Только такая синергия позволяет превратить разрозненные улучшения в устойчивую стратегию роста, гарантирующую высокую конкурентоспособность производимой техники на внутреннем и внешнем рынках.

Литература

1. Парфенович, Е. О. Методологические подходы к внедрению концепции бережливого производства / Е. О. Парфенович // Экономический бюллетень Научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь. – 2026. – № 2 (344). – С. 16–26.
2. Вумек, Дж. П. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Дж. П. Вумек, Д. Т. Джонс; пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2008. – 470 с.

УДК 658.511.1

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ САМООЦЕНКИ ДЛЯ ОАО «АМКОДОР-УНИМОД»

Студент гр. 11305122 Шишко Д. Д.

Кандидат техн. наук, доцент Токарь О. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

ОАО «Амкодор-Унимод» является специализированным предприятием по производству мостов ведущих и гидромеханических передач для широкой гаммы дорожно-строительной, коммунальной, снегоуборочной, лесной, сельскохозяйственной и другой специальной техники, ориентируясь на современные требования рынка по эргономике, экологичности и надежности. В условиях высокой конкуренции и особое значение приобретает эффективность работы внутренних подразделений, отвечающих за качество выпускаемой продукции.

Ключевым подразделением, отвечающим за развитие и поддержание системы менеджмента качества (СМК) на предприятии, является отдел СМК. В его задачи входит обеспечение функционирования СМК в соответствии с требованиями СТБ ISO 9001-2015, организация и проведение внутренних аудитов всех процессов, управление нормативной и технической документацией, анализ несоответствий и координация корректирующих мероприятий, подготовка к сертификации и взаимодействие с внешними аудиторами.

На практике деятельность отдела СМК зачастую сводится к контрольным функциям и формальному поддержанию сертификата соответствия. Инструментов для системной оценки эффективности СМК и выявления потенциала ее развития недостаточно. Решением данной проблемы может стать внедрение инструментов самооценки.

Модель самооценки – это комплексный, систематический анализ деятельности организации, ее процессов и результатов, проводимый самой компанией для определения сильных сторон, областей для улучшения и сопоставления с критериями совершенства. В мировой практике сложилось несколько основных подходов к самооценке:

1. Модель Деминга – исторически первая модель, ориентированная на статистическое управление процессами, вовлечение персонала и непрерывные улучшения (кайдзен).
2. ISO 9004 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха» – стандарт, предлагающий оценивать зрелость процессов по шкале от 1 до 5. Является логическим развитием ISO 9001.
3. Модель EFQM – Европейская модель делового совершенства, включающая 9 критериев и логику RADAR. Используется для Европейской премии по качеству и ее национальных аналогов.
4. Модель Малкольма Болдриджа – американская национальная премия, делающая акцент на измеримых результатах бизнеса.
5. Национальные модели (например, премии Правительства РФ и РБ в области качества) – адаптированные версии, учитывающие локальную специфику.
6. Упрощенные методы – оценочные листы, чек-листы, анкетирование. Используются для быстрой экспресс диагностики.

Выбор конкретной модели для внедрения должен основываться на реальных задачах отдела СМК и возможностях предприятия. Для ОАО «Амкодор-Унимод» наиболее обоснованным представляется выбор модели самооценки на базе стандарта ISO 9004 по следующим причинам:

1. Соответствие задачам отдела. ISO 9004 позволяет оценить не только результативность (выполнение плана), но и эффективность процессов, что напрямую связано с функциями отдела СМК по анализу и улучшению системы.
2. Предприятие сертифицировано по ISO 9001, поэтому использование родственного стандарта ISO 9004 не требует перестройки терминологии и документооборота. Сотрудники работают в привычных категориях.
3. В отличие от премиальных моделей (EFQM, Болдриджа, Национальной премии), требующих масштабных отчетов и вовлечения всего руководства, ISO 9004 допускает поэтапное внедрение. Отдел СМК способен собственными силами провести оценку по уровням зрелости на 2–3 ключевых процессах без привлечения внешних консультантов.
4. Результатом самооценки станет конкретный план действий по переходу от текущего уровня зрелости к желаемому.

Таким образом, разработка модели самооценки на основе ISO 9004 является актуальной задачей для ОАО «Амкодор-Унимод». Ее решение позволит отделу СМК перейти от формального контроля к реальному управлению качеством, выстроить систему устойчивого развития и подготовить фундамент для возможного участия в премиальных конкурсах в будущем.

UDC 681

A COMPACT CPW FED MEANDERLINE DUAL-BAND MICROSTRIP ANTENNA FOR L AND 2.4 GHZ ISM BAND APPLICATIONS

Atul R. Chaudhari^{1, 2, 3}, Dipak P. Patil⁴

¹Research Scholar, Sandip Institute of Technology and Research Centre, Nashik, India

²Dept of E&TC Engineering, MVPS's KBT COE Nashik, India

³Savitribai Phule Pune University, Pune, India

⁴Sandip Institute of Engineering and Management, Nashik, India

This paper presents the design and analysis of a compact, flexible microstrip antenna that utilizes a CPW-fed meanderline, functioning in the L and the ISM (2.4GHz) band. Dimensions of antenna are $48 \times 32 \times 2 \text{ mm}^3$. Its compact size is attributed to the meanderline radiator, which enables operation in two frequency bands. A coplanar waveguide (CPW) is employed to enhance impedance matching. Construction of recommended antenna begins with calculating theoretically resonant frequencies of patch antenna as per $\text{TM}(m, n)$ mode by obtaining rectangular patch design parameters. Each resonant band is achieved by designing a distinct effective current path length along the meander structure. The lower resonance is generated by the entire meander-line length, which behaves as a half-wavelength resonator, The upper resonance is excited by a shorter segment of the meander line, typically near the feed point. This path acts as a quarter-wavelength resonator. There is a meanderline radiating element, a central CPW feed line, and two symmetric coplanar ground planes on the same side of the substrate. The antenna is printed on a single-layer polyurethane foam substrate of dielectric constant of 1.2. A compact meanderline topology is used to make the radiating structure. This connects several folded strips to make an electrically long current path in a small space. This meanderline greatly increases the radiator's effective electrical length, allowing L-band resonance around 1.6 GHz while keeping the size small. The upper folded parts mostly help with the lower-frequency L-band operation, where surface currents move along the whole meandered path. The shorter current paths and strong electromagnetic coupling between adjacent meander segments create a second resonance in ISM band at 2.45 GHz. The closely spaced meander arms add more capacitive loading, and the folded strips add inductive effects. This renders the dual-band behavior very clear. The antenna has been excited using a 50-ohm coplanar waveguide (CPW) feed. It features a central signal strip, which is connected to the meanderline radiator, and two equal ground planes, which are positioned symmetrically on both sides. The lumped equivalent circuit is developed to provide a physical and analytical interpretation of the electromagnetic behavior of the proposed CPW-fed meander-line antenna. Each circuit element represents a distinct electrical effect associated with the antenna geometry, such as conductor length, bends, coupling between adjacent strips, ground proximity, and radiation loss. The circuit accurately explains and observed dual-band resonance behavior.

The proposed dual-band microstrip antenna with a meander-line structure works well at both 1.6 GHz (L-band) and 2.4 GHz (ISM band). The meander line effectively allowing for around 62 % miniaturization while keeping the right resonance properties. The simulated and measured return losses of -23 and -20 dB at 1.6 GHz and -30 and -22 dB at 2.4 GHz show that the impedance is well matched in both bands. An impedance bandwidth of 151MHz in the L-band and 242 MHz in 2.4GHz ISM band the antenna is a good fit for L-band and 2.4GHz ISM band wireless applications, has stable radiation performance.

Reference

1. A Modified Meander Line Microstrip Patch Antenna with Enhanced Bandwidth for 2.4 GHz ISM-Band Internet of Things (IoT) Applications / M. S. Islam, M. T. Islam, Md. A. Ullah [et al.] // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 127850.
2. A Compact 2.4 GHz L-Shaped Microstrip Patch Antenna for ISM-Band Internet of Things (IoT) Applications / M. F. Zambak, N. Misran, K. B. Gan [et al.]. – // Electronics. – 2023. – Vol. 12, № 9. – P. 2149.

3. A Novel Microstrip Patch Antenna having Dual L Slots / A. N. Ulmek, P. Jain, O. S. Lamba [et al.] // Indian Journal of Science and Technology. – 2023. – Vol. 16, № 37. – P. 3027.
4. Hsu, C.-Y. Design, Fabrication, and Characterization of a Dual-Band Electrically Small Meander-line Monopole Antenna for Wireless Communications / C.-Y. Hsu, H. Song // International Journal of Electromagnetics and Applications. – 2013. – Vol. 3, № 2. – P. 27.
5. Inverse S-shaped Meander Line Antenna Loaded with Slotted Parasitic Patch and Defected Ground for Internet of Things (IoT) Applications / S. S. Prottoy, Md. M. Rana, Md. A. Islam [et al.] // Progress In Electromagnetics Research C. – 2025. – Vol. 154. – P. 31.

UDC 681

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATIONAL TECHNOLOGY: AN ERP-BASED APPROACH TO TEACHER WORKLOAD MANAGEMENT AND DIGITAL BURNOUT MITIGATION

Dr. Baviskar P. V., Abhishek Jadhav, Anurag Kushare, Prasad Pund, Prathmesh Jadhav
Sandip Foundation's Sandip Institute of Engineering and Management, Nashik, India

The increasing administrative workload in educational institutions, including timetable management, assignment tracking, attendance monitoring, presents significant challenges for teachers, often leading to inefficiency, reduced productivity, and increased stress. Traditional methods used to handle these tasks are largely manual, time-consuming, and prone to errors, making academic management complex and less effective. These challenges highlight the need for a more intelligent, automated, and centralized solution that can streamline educational processes and reduce the burden on educators.

This paper presents a "Smart Web-Based Teacher Work Management System", a comprehensive platform designed to automate and optimize academic and administrative tasks through a centralized web-based interface. The proposed system provides role-based dashboards for administrators, teachers, and students, enabling efficient management of timetables, assignments, attendance, and communication. By integrating these functionalities into a single platform, the system ensures better coordination, transparency, and accessibility across all stakeholders within the institution.

A key feature of the proposed system is the integration of an AI-powered notes generation module using the Google Gemini API, which assists teachers in automatically generating lecture notes, summaries, and study materials based on given prompts. This significantly reduces the time and effort required for lesson preparation and allows educators to focus more on teaching, student interaction, and academic improvement. The incorporation of artificial intelligence enhances the system's capability to provide intelligent assistance and supports modern teaching methodologies.

The system is developed using React and TypeScript for frontend, with Firebase providing real-time database, authentication, and backend services. These technologies ensure scalability, real-time data synchronization, and a responsive user interface, thereby improving the overall user experience. The system also incorporates secure authentication mechanisms and role-based access control to maintain data privacy and system integrity.

By automating routine processes and incorporating AI-driven assistance, the proposed system minimizes manual effort, reduces errors, and enhances overall productivity within educational institutions. It improves communication between users, provides real-time updates, and supports efficient academic management. Furthermore, the system demonstrates how the combination of web technologies and artificial intelligence can transform traditional educational practices into a more efficient, organized, and technology-driven approach.

Overall, the proposed solution contributes to creating a smarter and more efficient educational environment by reducing teacher workload, improving operational efficiency, and promoting the effective use of technology in education.

References

1. Duan, H. The effects of educational artificial intelligence-powered applications on teachers' perceived autonomy, professional development for online teaching, and digital burnout / H. Duan, W. Zhao // International Review of Research in Open and Distributed Learning. – 2024. – Vol. 25, № 3. – P. 57–76.
2. Belloula, S. Empowering educators: Leveraging AI to revolutionize lesson planning / S. Belloula // International Journal of Research in Education and Science (IJRES). – 2025. – Vol. 11, № 2. – P. 264–280.

3. Artificial intelligence in education: A systematic literature review / S. Wang, X. Liu, Y. Zhang [et al.] // Expert Systems With Applications. – 2024. – Vol. 252. – Art. no. 124167.
4. Automatic timetable generation / P. Uma, P. S. Sharvesh, M. Pradeep [et al.] // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET). – 2023. – URL: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.50110> (date of access: 05.03.2026)
5. Smart faculty assistant for time table and question paper generation / Sinchana V, S. M. J, V. V. Shetty [et al.] // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2022. – Vol. 10, № 11. – URL: <https://doi.org/10.17577/IJERTCONV10IS11059> (date of access: 05.03.2026)
6. Techie-Menson, H. Design and implementation of a web-based timetable system for higher education institutions / H. Techie-Menson, P. Nyagorme // International Journal of Educational Research and Information Science. – 2021. – Vol. 7, № 1. – P. 1–13.
7. Chethan, M. S. AcademEase: Revolutionizing online assignment management for enhanced academic efficiency / M. S. Chethan, S. R. Raja // International Journal of Scientific Research & Engineering Trends. – 2024. – № 6. – P. 3176–3178.
8. Otieno, V. R. Teachers' perception on progress monitoring record as a method of assessment of holistic development among Kenyan lower primary schools learners / V. R. Otieno, B. C. Odongo, P. J. O. Aloka // Journal of Educational and Social Research. – 2015. – Vol. 5, № 3. – P. 151.
9. Assignment submission tracking system / Madhesh Soorya R., Rahul S., Harish Kumar S., Ajai Pranav C. R. // International Research Journal of Education and Technology (IRJEdT). – 2025. – Vol. 7, № 3. – P. 725–728.
10. Shelke, K. Student management system: A web-based solution for academic administration / K. Shelke, Y. Khan, A. S. Kapse // International Journal of Scientific Research in Science and Technology (IJSRST). – 2025. – Vol. 12, № 3. – P. 50–54.

UDC 681

PREVENTING INDIRECT PROMPT INJECTION IN AUTONOMOUS SYSTEMS THROUGH METADATA ISOLATION: SAFEGUARDING THE AGENTIC FRONTIER

Manisha Ghumare^{1,3,4}, Sandip Shukla¹, Dipak P. Patil^{2,3}, Pramod S. Aswale^{3,5}

¹Department of Computer Engineering, Guru Gobind Singh college of Engineering, Nashik, India

²Sandip Institute of Engineering and Management, Nashik, India

³Savitribai Phule Pune University, Pune, India

⁴Guru Gobind Singh Polytechnic, Nashik, India

⁵Sandip Institute of Technology and Research Center, Nashik, India

Large Language Models (LLMs) reveal a significant new vulnerability known as Indirect Prompt Injection (IPI) as they develop from interactive chatbots into autonomous agents that can independently navigate the web and call tools. This study investigates how malicious payloads that are incorporated into non-visual website metadata, like HTML tags and headers, may interfere with agent logic. We present a "Privilege-Isolated Dual-LLM" system that effectively neutralizes hostile metadata before it reaches the agent's main decision engine by separating data perception from command execution.

To navigate the web, autonomous agents employ sophisticated reasoning. Unlike direct prompt injection, IPI entails a third party inserting hidden instructions into data sources, like HTML tags [1, 10]. When an agent parses this data, it may misinterpret the "data" as a "command," which could result in system manipulation or illegal data exfiltration [5, 12].

The Instruction-Data Lack of Sequestration is the main obstacle to autonomous agent security [5]. The system finds it challenging to discern between a malicious command and an authentic description since LLMs handle instructions and external data in the same context window [8]. Attackers take advantage of this by concealing payloads in non-visual components such as HTTP headers or Alt-text [13, 15].

To solve the problem of sequestration, we suggest a structural firewall in the agentic loop [9]. Even though they act as the agent's "eyes," the Parser Agent (Low Privilege) can't get to sensitive tools. Its only job is to get and clean up unprocessed metadata [4, 13]. The Executive Agent (High Privilege) model keeps the user's sensitive keys safe. It only gets "clean" summaries from the Parser [9, 14]. To solve the problem of sequestration, we suggest putting a structural firewall in the agentic loop [9].

The Parser Agent (Low Privilege) serves as the agent's "eyes," but it cannot use sensitive tools. Its only job is to take in and clean up raw metadata [4, 13]. The Executive Agent (High Privilege) model only gets "clean" summaries from the Parser. It also keeps the user's sensitive keys [9, 14].

The last step in using AI is to secure the agentic loop. By putting up structural barriers between perception and execution, we can make sure that autonomous systems stay safe from new cyber threats.

References

1. Not what you've signed up for: Compromising Real-World LLM-Integrated Applications with Indirect Prompt Injection / K. Greshake, S. Abdelnabi, S. Mishra [et al.] // Proceedings of the 16th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security (AISec 2023), Copenhagen, Denmark, November 30, 2023. – New York: ACM, 2023. – P. 79–90.
2. Robustness Analysis of Autonomous Agents Against Adversarial Metadata / X. Zhang, Y. Li, Q. Wang [et al.] // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – 2024. – Vol. 19. – P. 1123–1138.
3. A Survey of Security and Privacy in LLM-based Agents / Y. Liu, J. Chen, L. Wu [et al.] // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 45678–45695.
4. Instructional Isolation: Towards Secure Context Windows in Transformer Models / J. Chen, S. Wang, L. Zhang [et al.] // 2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Seattle, WA, USA, June 17–21, 2024. – Piscataway: IEEE, 2024. – P. 2450–2459.
5. Privacy-Preserving Retrieval Augmented Generation for Autonomous Systems / L. Smith, M. Johnson, K. Lee [et al.] // IEEE Intelligent Systems. – 2024. – Vol. 39, № 2. – P. 45–57.
6. Adversarial Attacks on Multi-Agent Systems: A Survey / H. Wang, X. Liu, Y. Zhang [et al.] // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2023. – Vol. 34, № 9. – P. 5432–5450.
7. Prompt Security in the Era of Agentic Workflows / B. Zhao, C. Li, J. Wu [et al.] // IEEE Security & Privacy. – 2024. – Vol. 22, № 4. – P. 28–39.
8. The Role of Sandboxing in Autonomous AI Execution Environments / M. Patel, A. Sharma, R. Gupta [et al.] // IEEE Cloud Computing. – 2025. – Vol. 12, № 1. – P. 56–68.
9. Detecting Hidden Directives in HTML Metadata using BERT-based Classifiers / S. Gupta, P. Kumar, A. Verma [et al.] // 2024 IEEE International Conference on Big Data (BigData), Washington, DC, USA, December 15–18, 2024. – Piscataway: IEEE, 2024. – P. 1234–1241.
10. Trustworthy AI: Accountability for Autonomous Decision Agents / D. Miller, E. Brown, F. Garcia [et al.] // IEEE Technology and Society Magazine. – 2023. – Vol. 42, № 3. – P. 72–84.
11. Evaluating the Vulnerability of LLM-based Robotic Agents to Environmental Cues / T. Nguyen, H. Pham, M. Le [et al.] // IEEE Robotics and Automation Letters. – 2024. – Vol. 9, № 11. – P. 9876–9884.
12. Semantic Firewalls: Filtering Malicious Directives in Real-Time AI Streams / R. Thompson, S. Nelson, K. White [et al.] // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2025. – Vol. 27, № 1. – P. 112–129.
13. Verifiable Autonomy: Ensuring Agentic Compliance via Cryptographic Proofs / K. Lee, S. Park [et al.] // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2024. – Vol. 21, № 6. – P. 4321–4335.
14. Cross-Domain Prompt Injection: Risks in Integrated AI Ecosystems / S. Brown, M. Davis, L. Wilson [et al.] // IEEE Software. – 2024. – Vol. 41, № 3. – P. 67–75.

UDC 681

DESIGN AND ANALYSIS OF HEAT EXCHANGER FOR PULP INDUSTRIES

UG students Stavan Nathani, Prasad Patil, Ashok Pasi, Sahdev Patil

Professor Dube A. S.

Sandip Institute of Engineering and Management, Nashik, India

A heat exchanger is a device used to transfer heat between two or more fluids at different temperatures without mixing them. Heat exchangers are widely used in industries such as pulp and paper industries, power plants, chemical processing. In pulp applications, heat exchangers help maintain the required temperature of pulp, and reduce energy consumption. And there modes are Conduction, Convection, Radiation. A heat exchanger transfers heat from a hot fluid to a cold fluid. It is used for heating, cooling, condensation, and evaporation processes

A suitable type of heat exchanger is selected and designed by considering important parameters such as heat transfer rate, flow arrangement, overall heat transfer coefficient, and pressure drop. The materials for different components like tubes, shell, and supports are also selected based on their thermal properties, strength, and corrosion resistance. Special attention is given to tube material selection to achieve efficient heat transfer and durability in the pulp environment.

This research paper focuses on the design and analysis of a shell-and-tube heat exchanger for pulp Industries, specifically aimed at improving thermal performance, reducing pressure drop, and optimizing structural weight without compromising operational reliability. The existing industrial heat exchanger used for water heating in the pulp unit exhibits challenges such as high shell-side pressure drop (0.8 bar),

non-optimized baffle geometry, and heavy saddle support structures that increase the overall equipment weight and energy consumption.

To address these issues, the present paper employs a comprehensive design methodology using Kern's method for thermal calculations, TEMA standards for mechanical design, and SolidWorks-based CAD modeling for geometric refinement. Structural integrity and weight optimization of the saddle supports are evaluated using Finite Element Analysis (FEA) to minimize material usage while maintaining strength and stability.

Industrial input data including flow rates, inlet-outlet temperatures, viscosity, fouling resistance, density, specific heat, and material specifications serve as the basis for simulations and design validation. The redesigned heat exchanger demonstrates a significant improvement by reducing pressure drop to below 0.5 bar, improving shell-side flow distribution, and lowering saddle weight from 28 kg to approximately 20 kg, contributing to a nearly 30% reduction in total assembly weight. These improvements collectively reduce energy consumption, enhance operational reliability, and promote cost-effective and sustainable industrial practices.

The research paper establishes a detailed framework for efficient heat exchanger design and optimization tailored for pulp processing applications. The results serve as a foundation for advanced CFD analysis, prototype development, and real-time performance validation could be done as a scope for future work.

The analysis of the heat exchanger is carried out to evaluate its performance and effectiveness under operating conditions. The results obtained help in optimizing the design for better efficiency, reduced energy loss, and reliable operation. This paper demonstrates the practical application of heat exchanger design principles in industrial processes, particularly in the pulp and paper industry.

References

1. Effect of number of baffles on flow and pressure drop in a shell side of a shell and tube heat exchangers / A. Sadikin, N. Y. Khian, Y. P. Hwey [et al.] // Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences. – 2018. – Vol. 48, № 2. – P. 156–164.
2. Prasad, A. Design and Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger / A. Prasad, K. Anand // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 1–5.
3. Patil, S. FEA Analysis of Saddle Support for Shell and Tube Heat Exchanger / S. Patil, D. Thube, A. Sonawane // Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). – 2020. – Vol. 7, № 8. – Paper ID: JETIR2107590.
4. Gupta, R. K. Design and Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger using different tubes materials / R. K. Gupta, D. Pawar // International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR). – 2021. – Vol. 9, № 2. – Paper ID: IJEDR1702050.
5. Nair, S. Advanced CFD-driven optimization of shell-and-tube heat exchangers for pulp slurry applications / S. Nair, V. Kulkarni // International Journal of Thermal Process Engineering. – 2025. – Vol. 17, № 1. – P. 44–59.
6. Analyzing and simulating heat transfer and designing a shell and tube heat exchanger for the pasteurization process of tomato paste: A CFD study / M. Asadbeigi, E. Ahmadi, A. Nouri [et al.] // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, № 11. – e21593. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21593> (date of access: 06.03.2026).

UDC 681

THE ENTREPRENEURSHIP OF SPEED: A BUSINESS MODEL FRAMEWORK FOR FORMULA 1 TECHNOLOGY SPIN-OFFS

Student Manas S. Sonawane¹

Principal Dipak P. Patil²

¹Mechanical Engineering, GES R. H. Sapat College of Engineering
Management and Research Studies, Nashik, India

²Sandip Institute of Engineering and Management, Nashik, India

Formula 1 is often seen as one of the most technologically advanced and innovation-driven industries in the world. The sport operates under extreme performance pressures, tight development timelines, and highly data-intensive engineering environments, all of which push teams to innovate at an exceptional pace. Within this unique setting, the idea of the "entrepreneurship of speed" takes shape – describing how Formula 1 organizations are able to turn high-performance racing technologies into practical, marketable solutions beyond the track.

This paper aims to develop a structured business model framework specifically designed for Formula 1 technology spin-offs and startup ventures, with a particular focus on the Audi-Sauber partnership. It brings together key concepts such as technology transfer, corporate entrepreneurship, innovation strategy, and motorsport engineering to better understand how knowledge created in a racing environment can be effectively adapted and commercialized across other industries.

To support this, the study examines well-established industry examples, including McLaren Applied and Williams Advanced Engineering. Both organizations have successfully extended their Formula 1 expertise into areas such as healthcare, energy systems, and advanced materials. These cases offer valuable insights into how technical knowledge is translated into real-world applications, how organizations allocate resources to new ventures, and how they adjust their offerings to meet the demands of different markets.

The research follows a qualitative approach, relying on secondary data sources such as industry reports, academic literature, and comparative case analysis. Based on this, a comprehensive framework is proposed, highlighting key elements such as value proposition, core technological capabilities, organizational structure, customer segments, revenue streams, and continuous innovation feedback mechanisms. Particular attention is given to the advantages that come from Formula 1 environments, including rapid prototyping, advanced simulation technologies, and the use of high-frequency data systems, all of which play a crucial role in accelerating innovation.

The findings suggest that the Audi-Sauber collaboration holds strong potential to act as a strategic innovation hub. With the right structure in place, it can support the creation of scalable technology ventures that extend far beyond motorsport. By establishing dedicated spin-off units, building partnerships across industries, and aligning Formula 1 research activities with long-term corporate goals, Audi has the opportunity to transform its motorsport involvement into sustainable business growth.

Overall, this paper contributes by offering a practical and industry-relevant framework that connects the world of high-performance engineering with entrepreneurial commercialization. It also opens the door for future research, particularly in areas such as quantitative validation, real-world implementation strategies, and expansion into emerging fields like sustainable mobility and digital engineering platforms.

References

1. The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges / T. S. Baines, H. W. Lightfoot, O. Benedettini [et al.] // *Journal of Manufacturing Technology Management*. – 2009. – Vol. 20, № 5. – P. 547–567.
2. Chesbrough, H. W. *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology* / H. W. Chesbrough. – Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 2003. – 227 p.
3. Pisano, G. P. You Need an Innovation Strategy / G. P. Pisano // *Harvard Business Review*. – 2015. – Vol. 93, № 6. – P. 44–54.
4. Markides, C. C. Business Model Innovation: What Can the Ambidexterity Literature Teach Us? / C. C. Markides // *Academy of Management Perspectives*. – 2013. – Vol. 27, № 4. – P. 313–323.
5. Jenkins, M. Trajectories in the Evolution of Technology: A Multi-Level Study of Competition in Formula One Racing / M. Jenkins, S. W. Floyd // *Organization Studies*. – 2001. – Vol. 22, № 6. – P. 945–969.
6. Williamson, P. J. Ecosystem Advantage: How to Successfully Harness the Power of Partners / P. J. Williamson, A. De Meyer // *California Management Review*. – 2012. – Vol. 55, № 1. – P. 24–46.
7. McLaren Holdings Limited. 2023 Annual Report / McLaren Holdings Limited. – URL: <https://investors.mclaren.com/~media/Files/M/McLaren-Services/results-centre/2024/2023-mclaren-holdings-limited-annual-report.pdf> (date of access: 06.03.2026).
8. Williams Advanced Engineering (2022). *Advanced Engineering Solutions for Energy, Aerospace and Mobility*. Williams Group Technical Whitepaper / Williams Advanced Engineering. – 2023. – URL: https://www.williams.com/wp-content/uploads/sites/8/2023/07/Williams_2022SustainabilityReport_Digitally-Accessible_Update.pdf (date of access: 06.03.2026).
9. Audi (2024). *Audi in Formula 1: Strategy, Innovation and Hybrid Power Unit Development*. Audi AG Official Report / AUDI AG. – URL: <https://emea-dam.audi.com/adobe/assets/urn:aaid:aem:25710b00-81c9-4faf-885e-8e7fb5b9cf5e/original/as/audi-report-2025-en.pdf> (date of access: 06.03.2026).
10. Sauber Group (2023). *Engineering Excellence and Motorsport Innovation*. Sauber Group Corporate Documentation // Sauber Technologies. – URL: <https://sauber-technologies.com/en/engineering/> (date of access: 06.03.2026).
11. Porter, M. E. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance* / M. E. Porter. – New York: Free Press; London: Collier Macmillan, 1985. – 557 p.

12. OECD. (2018). Technology Transfer and Innovation: Policy Framework and Case Studies. OECD Publishing. – URL: <https://www.oecd.org/sti> (date of access: 06.03.2026).

13. FIA – Fédération Internationale de l'Automobile (2023). Formula One Technical Regulations and Innovation Guidelines. FIA Publications. – URL: <https://www.fia.com> (date of access: 06.03.2026).

UDC 681

A DUAL-STAGE AI HEALTHCARE SYSTEM FOR BRAIN CANCER RISK PREDICTION AND BRAIN TUMOR DETECTION

Dr. Nalavade K. C., Nisarg Pansora, Atharv Gawali, Amit Arote, Charulata Sonar
Department of Computer Engineering, Sandip Institute of Engineering & Management, Nashik, India

The growth of intelligent digital platforms and data-driven systems has transformed modern healthcare and service environments. Machine learning, data mining, and business intelligence techniques enable predictive modeling, decision support, and automated workflows. Recent advancements in artificial intelligence improve data analysis and system intelligence; however, integrating predictive intelligence with scalable and reliable system architecture remains a major challenge.

The proposed system presents an intelligent healthcare framework for brain cancer risk prediction and brain tumor detection. The system integrates machine learning and deep learning techniques to provide automated diagnosis and clinical decision support. The workflow begins with patient data acquisition, followed by risk prediction using clinical data in the first stage and MRI-based tumor detection and segmentation in the second stage. The results from both stages are combined to generate a comprehensive diagnostic report. The system consists of modules including patient data management, risk prediction, tumor detection and segmentation, report generation, and system administration. Machine learning algorithms are used for risk classification, while deep learning models such as CNN and U-Net are used for tumor detection and segmentation from MRI images. The system architecture is designed to be scalable, secure, and reliable, supporting realtime medical data processing and automated diagnostic reporting.

The proposed system improves early diagnosis, reduces manual workload, and provides accurate and interpretable results for healthcare professionals.

The proposed system was evaluated using the BraTS 2020 dataset. The risk prediction module successfully classified patients into different risk levels based on clinical data. The tumor segmentation model achieved a Dice score of 0.8879 and segmentation accuracy of 89 %, outperforming the existing 3D U-Net method. The results demonstrate that the system provides accurate risk prediction, tumor detection, and automated diagnostic support.

The results show that the proposed system provides accurate tumor segmentation, reliable risk prediction, and reduced computational complexity. The integration of both stages provides a complete diagnostic workflow and supports automated clinical decision support.

The proposed dualstage AI healthcare system integrates machine learning and deep learning techniques for brain cancer risk prediction and brain tumor detection. The system provides accurate risk assessment and tumor segmentation using clinical data and MRI images. Experimental results show improved accuracy and efficient performance compared to existing methods. The system can assist healthcare professionals in early diagnosis and clinical decision support.

References

1. Mishra, A. N. HomeServe: The On-Demand Home Services Platform / A. N. Mishra, P. K. Gupta // International Journal of Computer Applications. – 2021. – Vol. 183, № 24. – P. 12–18.
2. Agarwal, S. AI-Powered Service Recommendation System Using K-Means and NLP / S. Agarwal, R. Ghosh, M. Sharma // 2022 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Communication Technology (CICT), Ghaziabad, India, 2022. – P. 242–248.
3. Banerjee, A. Fraud Detection in Digital Platforms Using Machine Learning: A Case Study / A. Banerjee, S. Verma // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 122601–122613.
4. Chen, H. Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact / H. Chen, R. H. Chiang, V. C. Storey // MIS Quarterly. – 2012. – Vol. 36, № 4. – P. 1165–1188.
5. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space / T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado [et al.] // International Conference on Learning Representations (ICLR), Scottsdale, USA, 2013. – P. 116–118.
6. Sutton, R. S. Reinforcement Learning: An Introduction / R. S. Sutton, A. G. Barto. – 2nd ed. – Cambridge, MA: MIT Press, 2018. – P. 9-11.

7. Han, J. Data Mining: Concepts and Techniques / J. Han, M. Kamber, J. Pei. – 3rd ed. – San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2011. – P. 29-31.
8. Gupta, A. Smart Service Marketplace: AI-Driven Local Service Recommendation and Scheduling / A. Gupta, V. Kumar // 2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP), Hong Kong, 2020. – P. 145–152.
9. Akbar, M. F. An Intelligent Framework for Digital Service Provider Verification Using AI / M. F. Akbar, S. H. Memon, R. Ali // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. – 2022. – № 2. – P. 580–591.
10. Resnick, P. Trust Among Strangers in Internet Transactions: Empirical Analysis of eBay's Reputation System / P. Resnick, R. Zeckhauser // The Economics of the Internet and E-commerce. – 2002. – Vol. 11. – P. 127–157.

UDC 681

LIGHTWEIGHT, ATTACK-RESISTANT DEEP GENERATIVE FRAMEWORK FOR INDUSTRIAL CYBER-PHYSICAL SYSTEM ANOMALY DETECTION

Pramod S. Aswale^{1,3}, Dipak P. Patil^{2,3}

¹Research Scholar, Sandip Institute Technology and Research Centre, Nashik, India

²Sandip Institute of Engineering and Management, Nashik, India

³Savitribai Phule Pune University, Pune, India

Industrial Control Systems (ICS) are the heart of important infrastructure like water treatment plants, where cyberattacks can cause major problems and safety risks. Because multivariate time-series sensor data from these systems is complex and high-dimensional, traditional security measures often don't work to find unknown or zero-day attacks. This study suggests using an LSTM Autoencoder and a hybrid classification model to make an intelligent anomaly detection framework that works better in industrial settings. Evaluation is done using the SWaT dataset, which has over 1.44 million records from a secure water treatment testbed. Cleaning, standardization, dimensionality reduction via Principal Component Analysis (PCA), and sequence windowing to identify temporal correlations are all part of data preprocessing. After learning typical system behavior, the LSTM Autoencoder creates latent representations and reconstruction errors. These are then processed by an ensemble classifier that uses Random Forest and Support Vector Machine to detect anomalies. Experimental results show that this method works much better than other methods, with near-perfect precision, recall, and F1-score (99.9 %). It also has no detection delay. The suggested framework offers an effective and durable approach for real-time anomaly detection and enhanced cybersecurity resilience in industrial cyber-physical systems.

Dataset used: Normal = 500,000, Attack = 54,621.

Table 1

Dataset	Size
Train normal	449,990
Test normal	50,000
Train attack	25,000
Test attack	29,611

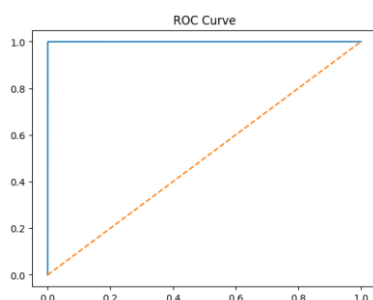


Fig. 1. ROC Curve

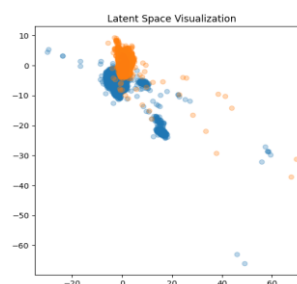


Fig. 2. Latent Space

The ROC curve shows that the proposed model achieves an AUC close to 1, indicating excellent capability to distinguish between normal and anomalous ICS behaviour. The latent space visualization shows that the encoder effectively separates normal operational patterns from anomalous behaviour. Normal samples cluster together, while attack samples appear as distinct outliers.

Table 2 – Comparison with Base Paper

Method	Precision	Recall	F1 Score
SDA + CNN + GRU	99.65	83.34	91.94
LW-LSTM-VAE	89.88	79.65	84.46
Proposed Model	99.9	99.9	99.9

Given the shortcomings of conventional security measures in detecting unknown and advanced cyber-attacks, a hybrid deep learning-based methodology was suggested, utilizing an LSTM Autoencoder in conjunction with a Random Forest and Support Vector Machine ensemble classifier. The results show that using classification with deep temporal feature learning makes detection more accurate and reduces false positives. This is a thing. The suggested architecture is a solution for detecting anomalies in real-time in industrial settings that combine physical and computer systems. It is reliable. Can be expanded. For the future researchers might want to work on making this concept work with learning environments and real-time deployment. They should also try to make it better, at resisting cyberattacks.

References

1. Fährmann, D. Lightweight Long Short-Term Memory Variational Auto-Encoder for Multivariate Time Series Anomaly Detection in Industrial Control Systems / D. Fährmann, N. Damer, F. Kirchbuchner [et al.] // Sensors. – 2022. – Vol. 22, No. 8. – P. 2886.
2. Piñón-Blanco, C. Detecting Anomalies in Industrial Control Systems with LSTM Neural Networks and UEBA / C. Piñón-Blanco, F. Otero-Vázquez, I. Ortega-Fernandez, M. Sestelo // 2023 JNIC Cybersecurity Conference (JNIC), Vigo, Spain, 21–23 June 2023. – P. 1–8.
3. Aswale, P. S. Securing Cyber Physical System Using Machine Learning: A Survey on Attack Resistant Algorithms / P. S. Aswale, D. P. Patil, O. S. Vaidya // Revue d'Intelligence Artificielle. – 2024. – Vol. 38, № 1. – P. 277–284.

UDC 681

A FOAM SUBSTRATE BASED COMPACT TRIPLE-BAND WEARABLE ANTENNA FOR 5G SUB-6 GHz (N77/N78), WI-FI, AND ISM APPLICATIONS

Suhas R. Kale^{1,3,4}, Dipak P. Patil²

¹Department of E&TC, Sandip Institute of Technology and Research Centre, Nashik, India,

²Sandip Institute of Engineering and Management, Nashik, India

³Savitribai Phule Pune University, Pune, India

⁴Pravara Rural Engineering College Loni, India

The design and Simulation of a compact, wearable, triple-band microstrip patch antenna for ISM, 5G Sub-6 GHz (N77/N78), and Wi-Fi applications are presented in this paper. A low-permittivity foam substrate ($\epsilon_r = 1.07$, $\tan\delta = 0.0025$) with a thickness of 2 mm and copper layers of 0.05 mm is used to fabricate the suggested antenna with dimension of $38.84 \times 42.13 \times 2 \text{ mm}^3$. Optimized slots and notches in the radiating patch allow for resonance at 2.12 GHz, 3.56 GHz, and 5.4 GHz, resulting in multiband characteristics. With reflection coefficients of -18.70 dB , -14.28 dB , and -14.94 dB at the corresponding resonant frequencies, the antenna demonstrates good impedance matching.

The rapid advancement of wireless communication technologies has created an urgent need for enhanced multiband antennas that can support a wide range of frequency bands while meeting the stringent requirements of modern applications [1]. Multiband antennas are vital in meeting the increased demand for seamless wireless connectivity because they accommodate many frequency bands within a single compact design.

Furthermore, among of the most well-known sub-6 GHz spectrums designated for 5G communications are the N77 (3.3–4.2 GHz), N78 (3.3–3.8 GHz), and N79 (4.4–5.0 GHz) frequency

bands. The most popular technique for building a multiband antenna is to cut slots in the patch of different forms, such V[2], and F[3]. The author reported a novel planar compact slot antenna for multiband Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) communication using C-shaped and inverted L-shaped slots [4].

The top view (radiating patch) is depicted in Figure 1, *a*, and the back view with the partially ground plane antenna design is shown in Figure 1, *b*, Simulated reflection coefficient as shown in Figure 1, *c*.

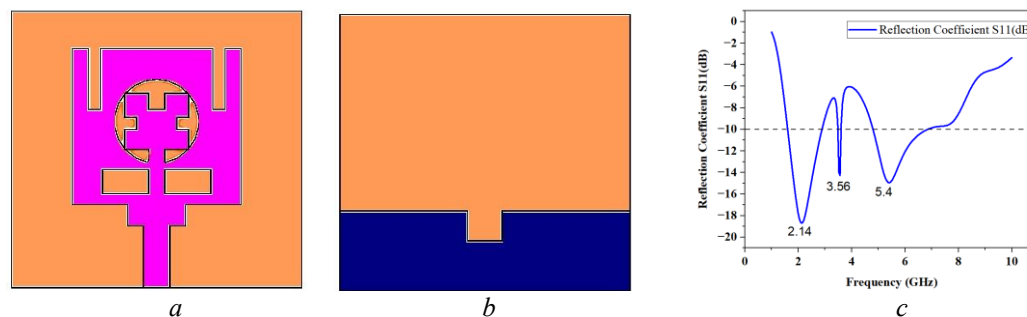


Fig. 1. Proposed work (*a*) Front View (*b*) Back View (*c*) Simulated Reflection Coefficient

References

1. Kale, S. R. A Review of Wearable Antennas for 5G and Body-Centric Wireless Communication / S. R. Kale, D. P. Patil // *Devices and Methods of Measurements*. – 2024. – Vol. 15, № 4. – P. 269–286.
2. Analysis of V Slot Multiband Microstrip Patch Antenna for S, C and X Bands / A. Singh, G. P. Singh, M. Vendra [et al.] // *International Journal of Engineering Trends and Technology*. – 2017. – № 6. – P. 331–334.
3. Gautam, A. K. Design of Compact F-Shaped Slot Triple-Band Antenna for WLAN/WiMAX Applications / A. K. Gautam, L. Kumar, B. K. Kanaujia, K. Rambabu // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2016. – Vol. 64, No. 3. – P. 1101–1105.
4. Lu, J.-H. Planar Compact Slot Antenna With Multi-Band Operation for IEEE 802.16m Application / J.-H. Lu, B.-J. Huang // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. – 2013. – Vol. 61, № 3. – P. 1411–1414.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

<i>Dhliwayo P., Musiiwa P. B., Rushambwa M. C., Tyavlovsky A. K., Svistun A. I., Kapuya E. T., Musademba D.</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF SIC AND GAN WIDE-BAND GAP DEVICES IN HIGH-EFFICIENCY DUAL ACTIVE BRIDGE CONVERTERS FOR EV CHARGING INFRASTRUCTURE.....	5
<i>Kulik A. V., Verich A. V., Kachan S. M.</i> WILSON CLOUD CHAMBER WITH PELTIER ELEMENTS	6
<i>Machongwe T., Musiiwa P. B., Rushambwa M. C., Tyavlovsky A. K., Svistun A. I., Kapuya E. T., Musademba D.</i> DESIGN OF OPTIMISED DUAL ACTIVE BRIDGE CONVERTERS	7
<i>Makanaka Dongo Fambi, Taonana E., Simango D., Musiiwa P. B.</i> DESIGN OF A MICROCONTROLLER BASED AI POWERED ELECTRICAL TRANSFORMER PROTECTION, THEFT PREVENTION AND REMOTE MONITORING AND ALERT SYSTEM...8	
<i>Hazel Makuwa, Lisani Ndlovu, Kudzai B. Chimonyo</i> ASSET MANAGEMENT SYSTEM FOR PHARMACEUTICAL DELIVERY TRUCKS.....9	
<i>Mangudhla T., Makusha D.</i> DESIGN OF AN AUTOMATED CHICKEN FEEDER AND DRINKER SYSTEM WITH A BROODER TEMPERATURE MONITOR.....10	
<i>Masarira M. F., Simango D., Musiiwa P. B.</i> AN AUTONOMOUS IOT BASED FRAMEWORK FOR REAL TIME POWERLINE THEFT AND FAULT DETECTION 11	
<i>Vimbai Ngulube, Winnie Mutenhabundo</i> DEVELOPMENT OF A SEMI-AUTOMATED SMART PARCEL COUNTER SYSTEM 12	
<i>Xu Xin Rong, Kovel S. G., Svistun A. I., Varabei R. I.</i> A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIFFERENCES IN FLEXIBILITY TRAINING BETWEEN CHINESE WRESTLING AND OTHER COMBAT SPORTS FROM A CROSS-CULTURAL PERSPECTIVE.....12	
<i>Xu Xin Rong, Varabei R. I., Svistun A. I., Kovel S. G.</i> APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN MUSCLE INJURY PREVENTION AND REHABILITATION INTERVENTION FOR WRESTLERS DURING RECOVERY TRAINING 13	
<i>Tafadzwa Ziduche, Mupfumira P.</i> A DES FRAMEWORK INFORMED BY ML INSIGHTS FOR OPTIMIZING FAULT DETECTION AND REPAIR RESPONSE TIME TO MITIGATE REVENUE LEAKAGE IN ZIMBABWEAN INTERNET SERVICE PROVIDERS.....14	
<i>Агапов М. Э., Каликанов А. В.</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАЧАЛЬНОЙ ВЫСТАВКИ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ.....14	
<i>Бань Н. А., Савелов И. Н.</i> МОБИЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР КАЧЕСТВА МОЛОКА.....15	
<i>Бань Н. А., Кулик У. С., Павловская М. А., Белещук Ю. А., Микитевич В. А., Гусев О. К.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА МОЩНЫХ RGBWY СВЕТОДИОДОВ 16	
<i>Беляков Ф. А., Кондратьева Н. А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ФОТОГРАММЕТРИИ С БОРТА БПЛА.....17	
<i>Бехлер И. А., Матвеев В. В.</i> ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ВИЗУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ ВОЗДУШНОГО БАЗИРОВАНИЯ.....18	
<i>Бландинов А. С., Мандрик М. Л., Василевский А. Г., Третьяк И. Б.</i> ЕМКОСТНОЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОПЫТКИ ПРОНИКНОВЕНИЯ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЕ ИЛИ ДВЕРНЫЕ ПРОЕМЫ В СИСТЕМЕ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ 20	

Бланков Р. С., Каликанов А. В. ВИЗУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	21
Бочило И. Н., Рожко А. В., Куклицкая А. Г. ОБРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТОЛЩИНОМЕРАХ	22
Борбат М. С., Ромашко Е. Д., Невдах В. В. КЛАССИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ТВЕРДОМ ПРОВОДНИКЕ	22
Бочило И. Н., Девочко В. В., Смирнов В. В., Микитевич В. А., Свистун А. И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА	24
Веселовский В. А., Дударева О. В. ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВИДЕОАНАЛИТИКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАРАНТИННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ	25
Веселовский В. А., Морозова А. Н., Дударева О. В. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАССОВЫХ ОПЕРАЦИЙ	26
Дулуб Я. В., Каликанов А. В. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МАКЕТА ДАТЧИКА УГЛОВОЙ СКОРОСТИ НА БАЗЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА	27
Веселовский В. А., Морозова А. Н., Дударева О. В. СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАССОВЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ВИДЕОАНАЛИТИКИ	28
Денисов М. О., Матвеев В. В. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ОГРАНИЧЕННЫХ СИСТЕМ.....	30
Жолнерович А. В., Кондратьева Н. А. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	31
Журавель Д. Д., Савелов И. Н. МОБИЛЬНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	32
Карнилович А. Г., Пирогова Е. Н., Куклицкая А. Г. ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	33
Иванов Е. Е., Матвеев В. В. МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ГИРОСКОПЫ: ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ	34
Кабась Д. А., Мисюкевич Н. С. СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ ПОЛИКЛИНИКИ	35
Калачев А. А. СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ....	36
Карнилович А. Г., Пирогова Е. Н., Микитевич В. А., Воробей Р. И. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ	37
Книга Н. А., Савелов И. Н. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ	38
Ковынев Н. В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ RFID ТЕХНОЛОГИЙ	39
Козловский И. А., Смоленчук А. П., Василевский А. Г., Третьяк И. Б. ИОНИЗАЦИОННЫЙ ДАТЧИК (ИЗВЕЩАТЕЛЬ) ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ В МОТОРНОМ ОТСЕКЕ АВТОМОБИЛЯ.....	40
Койро А. В., Кротова А. С., Леонович П. Д., Исаев А. В. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ ГАЗОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ	41

Койро А. В., Кротова А. С., Леонович П. Д., Исаев А. В. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ГАЗОВЫЙ СЕНСОР TGS3870 (CH ₄ /CO)	42
Колядко Я. А., Петрицкая Н. Д., Шадурская Л. И. ДЕТОНАЦИОННЫЕ АЛМАЗЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ	43
Кротова А. С., Леонович П. Д., Койро А. В., Исаев А. В. УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АДРЕСНЫЕ ОХРАННЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ	44
Крупенко А. Д., Ломтев А. А. РЕГУЛИРОВКА СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	45
Крюков А. Н., Паршенков Д. А., Воробей Р. И., Куклицкая А. Г. КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ	46
Кулак Е. Ю., Князев М. А. ФОТОЭФФЕКТ И ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ	47
Куракова М. С., Матвеев В. В. НАЧАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ	48
Леонович П. Д., Койро А. В., Кротова А. С., Исаев А. В. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ ИО408-5 «ЭХО-5»	49
Леонович П. Д., Койро А. В., Кротова А. С., Исаев А. В. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ	50
Лещеня С. А., Кондратьева Н. А. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СИСТЕМ	51
Литовка А. А., Зайцева Е. Г. ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ДАТЧИКОВ	52
Мороз А. С., Тявловский А. К. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ MLP И LSTM ДЛЯ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДАННЫХ ДАТЧИКОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ВЫХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ И КОМПЕНСАЦИИ ГИСТЕРЕЗИСА	53
Нарейка А. С., Ломтев А. А. ТЕНЗОРЕЗИСТОРЫ В ИЗМЕРЕНИИ ДАВЛЕНИЯ	54
Нижников В. С., Кольчевский Н. Н. ПОВОРОТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ	54
Рожко А. В., Бочило И. Н., Куклицкая А. Г. ВЫБОР ПЭП ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТОЛЩИНОМЕРА	56
Ромашко Е. Д., Шадурская Л. И. НАНОРАЗМЕРНЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ НА ОСНОВЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ АЛМАЗОВ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ МЕЖКОМПОНЕНТНОЙ КОММУТАЦИИ В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ	57
Смирнов В. В., Канойко К. А., Савелов И. Н. ТВЕРДОМЕР ПОРТАТИВНЫЙ	58
Тихонцов Е. П., Гусев О. К., Бельский И. В. РОСТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СИЛОВЫХ ВИДАХ СПОРТА ПОСРЕДСТВОМ УПРАВЛЯЕМОГО СТРЕССА	59
Тихонцов Е. П., Гусев О. К., Бельский И. В. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ТРЕНИРОВКИ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ	60
Ульянова П. Н., Каликанов А. В. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ	61
Хряпин Д. В., Каликанов А. В. ОПТИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА	62

<i>Шилько И. А., Ризноокая Н. Н., Таратын И. А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОВЫШЕННОЙ МАЯТНИКОВОСТИ ДАТЧИКОВ УГЛА НАКЛОНА	63
<i>Шиманчик А. М., Савелов И. Н.</i> ПОРТАТИВНЫЙ ТОЛЩИНОМЕР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ НЕМАГНИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	64
<i>Якименко Д. Д., Воробей Р. И.</i> ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕФЕКТΟΣКОПОВ ФИРМЫ SIUI ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОПРОВОДОВ	65

СЕКЦИЯ 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ПРИБОРОВ

<i>Rufaro Chizu, Byeli A. V.</i> ENGINEERING OF TOOL-PURPOSE HARD ALLOYS BY UNBALANCED MAGNETRON SPUTTERING OF HIGH-ENTROPY ALLOYS	67
<i>Song TingTing, Zaitseva E. G.</i> EXPANDING THE POSSIBILITIES OF ELECTRICAL RESISTANCE CONTROL AT ACUPUNCTURE POINTS	68
<i>Song TingTing, Zaitseva E. G.</i> THE USE OF INTEGRATED PHOTOGRAPHY TO EXPAND THE POSSIBILITIES OF GAS-DISCHARGE VISUALIZATION	69
<i>Андрушкевич И. В., Габец В. Л.</i> ПОДЪЕМНИК С ПРИВОДОМ	70
<i>Бабенко А. И. Габец В. Л.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ	71
<i>Богдан Д. Ю., Бурак В. А.</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНИЗОТРОПИИ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА МЕТАЛЛОВ	72
<i>Богдан Д. Ю., Бурак В. А.</i> ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШТАМПУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ	73
<i>Бувечич А. Д., Габец В. Л.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ КОЛЕННЫХ МОДУЛЕЙ	74
<i>Васин К. Е., Бурак В. А.</i> СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЗАЩИЩЕННОСТЬ ОТ ВЛАГИ	75
<i>Гайдук Н. С., Есьман Г. А.</i> ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС	76
<i>Горох М. С., Маковская В. М., Зайцева Е. Г.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭМОЦИЙ НА МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА РЕЧЕВОГО СИГНАЛА	77
<i>Гылыджанов К., Луговой В. П.</i> НАЦИОНАЛЬНЫЕ ЖЕНСКИЕ УКРАШЕНИЯ ТУРКМЕНИСТАНА	78
<i>Девочко В. В., Савелов И. Н.</i> УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДИНАМОМЕТР ЭЛЕКТРОННЫЙ	79
<i>Дерман А. А., Есьман Г. А.</i> СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ	80
<i>Диндигов В. Ю., Есьман Г. А.</i> ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ	81
<i>Егорова М. Б., Филонова М. И.</i> ПАЙКА И СВАРКА – КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ	82
<i>Зеньков Д. С., Габец В. Л.</i> ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ОСТЕОХОНДРОЗА ПОЗВОНОЧНИКА	83
<i>Захвицевич В. А., Ломтев А. А.</i> СИСТЕМА АНАЛИЗА ВИБРАЦИЙ ПОДВИЖНЫХ ЧАСТЕЙ 3D-ПРИНТЕРА	84
<i>Иоффе К. В., Монич С. Г.</i> ОБЗОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО И НЕРАВНОМЕРНОГО ОТРЫВА КЛЕЙКИХ ЛЕНТ	85
<i>Калтак Д. И., Есьман Г. А.</i> СТОЛ ДЛЯ МАССАЖА	86

Кижло М. В., Богдан Д. Ю. ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ВРЕМЕНИ НОШЕНИЯ ORTHOTIMER ДЛЯ КОРСЕТА ШЕНО	87
Коляда Е. А., Маковская В. М., Степаненко Д. А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИДКИЕ СРЕДЫ	88
Косьянчук В. И., Мониц С. Г. ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХЛАДОТЕКУЧЕСТИ КАУЧУКА.....	89
Кулаков Д. А., Бурак В. А. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СТОЛОВЫХ ПРИБОРОВ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ	90
Кулик У. С., Савелов И. Н. МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ РЕГИСТРАТОР.....	91
Левкевич И. С., Кондратьева Н. А. РАСЧЕТ ПРОЦЕНТНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЛАЗМЫ ИЗ КРОВИ ПРИБОРОМ ГЕМОС-ПФ	92
Леонович А. С., Габец В. Л. ЮСТИРОВКА БИЛЬЯРДНОГО СТОЛА ДЛЯ СНУКЕРА	93
Линкевич Д. А., Савченко А. Л., Колесников В. С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВодОВ ДЛЯ САДОВО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ СТРАН СНГ.....	94
Маковская В. М., Коляда Е. А., Степаненко Д. А. ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ЖИДКОСТИ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	95
Малиновская П. В., Смоляная В. В., Филонова М. И. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	96
Павловская М. А., Савелов И. Н. АНАЛИЗАТОР КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ	97
Полицын В. С., Филонова М. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ.....	98
Попов Р. А., Луговой В. П. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТВЕРДОСТИ И СТРУКТУРЫ ПРИРОДНОГО КАМНЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ	99
Пугач П. А., Савченко А. Л. РАЗРУШЕНИЕ СОСУЛЕК С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ	100
Рыжиков В. А., Луговой В. П. ДИЗАЙН ЭФЕСА В РЕНЕССАНСНОЙ ШПАГЕ	101
Савина Д. Л., Бурак В. А. УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СПАНДБОНДА	102
Свирид А. Н., Есьман Г. А. ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	103
Солдатов В. И., Вятчина Т. Г., Коровина С. А., Михайлова А. С., Труфанов А. М., Пушкарев М. С. МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫХ МЫШЦ	104
Субботин И. С., Каликанов А. В. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕРОНАМИ.....	105
Суходольская А. А., Савченко А. Л. ЖЕСТКОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ НИТИНОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....	106
Титович Д. А., Бурак В. А. СТЕНД ИСПЫТАНИЯ ЯЩИКОВ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ ШТАБЕЛИРОВАНИИ	108
Чайко А. А., Есьман Г. А. СТУЛЬЧИК ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ С ДЦП.....	109

Чайкова Л. Д., Зайцева Е. Г., Богдан П. С. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОЗЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	110
Шубин К. А., Луговой В. П. СТРУКТУРА ОРНАМЕНТА КЕЛЬТСКИХ УКРАШЕНИЙ	111

СЕКЦИЯ 3. МИКРО- И НАНОТЕХНИКА

Dr. Puneet Jain NANO-ENGINEERED MATERIALS FOR EARTHQUAKE-RESILIENT STRUCTURES	112
Антонов М. С., Чижик С. А. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ MEMS-СЕНСОРОВ ПРИ АДСОРБЦИИ МОЛЕКУЛ ГАЗА.....	113
Аль-Ясини Д., Щербакова Е. Н. ПРОБЛЕМЫ СОВМЕСТИМОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНОЙ ИНТЕГРАЦИИ КМОП И МЭМС	114
Александрович В. С., Лагунович Н. Л. ДВУХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИТТЕРНОГО $p-n^+$ -ПЕРЕХОДА В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ	115
Бенищевич А. П., Люцко К. С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЭМС НА АДГЕЗИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	116
Веремей И. С., Маркевич М. И., Щербакова Е. Н. ЛАЗЕРНЫЙ СИНТЕЗ In_2S_3 В РАСТВОРЕ ПОЛИСУЛЬФИДА НАТРИЯ	117
Веремей И.С., Маркевич М. И., Щербакова Е. Н. ОБРАЗОВАНИЕ ПОР В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ НИКЕЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	118
Войтеховский А. А., Реутская О. Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДАТЧИКАМИ АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА.....	119
Волчанин А. Д., Дорошков П. Д., Лагунович Н. Л. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИРМЫ SYNOPSYS	120
Вореводский Б. Д., Балохонов Д. В. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИМПРИНТ-ЛИТОГРАФИИ	120
Вореводский Б. Д., Щербакова Е. Н. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКРОПРИВОДОВ	122
Вореводский Б. Д., Колонтаева Т. В. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ	123
Глебоко И. И., Балохонов Д. В. ЗАЩИТА КРИСТАЛЛОВ МИКРОСХЕМ ОТ РАДИАЦИИ МЕТОДОМ КОРПУСИРОВАНИЯ	124
Гриб А. А., Чижик С. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ	125
Данилетский М. Г., Колонтаева Т. В. ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ МОЛИБДАТА ЛИТИЯ	126
Дьяков М. В., Кондратьева Н. А. ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСЕНСОРОВ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ	126
Жолнерович А. В., Гацкевич Е. И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ ПЛАВЛЕНИЯ И ИСПАРЕНИЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	127
Жолнерович А. В., Черный В. В. ОТЖИГ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ТРАНСМУТАЦИОННО ЛЕГИРОВАННОМ КРЕМНИИ.....	128
Затягин В. Д. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ NV-ЦЕНТРОВ В АЛМАЗЕ ДЛЯ КВАНТОВОЙ СЕНСОРИКИ (ОБЗОР)	129

<i>Камейко А. С., Колонтаева Т. В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛИЗА ВОДЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ СРЕД	130
<i>Кайрис А. А., Колонтаева Т. В.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ СВЕРХВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР	131
<i>Крошаков И. Д., Колонтаева Т. В.</i> ТЕРМОДИНАМИКА ОБРАЗОВАНИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ	132
<i>Крошаков И. Д., Колонтаева Т. В.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИТАЛЛОВ	133
<i>Кузнецова Д. И., Горанов И. Г., Назарчук К. А., Люцко К. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА ЭЛЕКТРОМИГРАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРОВОДНИКАХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ	133
<i>Кузнецова Д. И., Щербакова Е. Н.</i> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АДДИТИВНЫХ И СУБТРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	134
<i>Лазоренко К. П., Сернов С. П.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОЗЕФСОНА В КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРАХ.....	135
<i>Луданик Д. Ю., Реутская О. Г.</i> ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАБОТКЕ КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДАТЧИКОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	136
<i>Мисюк А. Ю., Колонтаева Т. В.</i> ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	137
<i>Мычко В. А., Щербакова Е. Н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ АЭРОГЕЛЕЙ КАК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ.....	138
<i>Мычко В. А., Лапицкая В. А.</i> МЯГКИЕ АКТУАТОРЫ.....	139
<i>Надумович Н. А., Колонтаева Т. В.</i> КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ.....	140
<i>Новосельский М. А., Колонтаева Т. В.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР	141
<i>Петрушенко Е. А., Щербакова Е. Н.</i> ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАЗМОННЫХ НАНОАНТЕНН МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И НАНОСФЕРНОЙ ЛИТОГРАФИИ.....	142
<i>Полуян Н. В., Колонтаева Т. В.</i> ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПЛОТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБОНИТРИДА ГАФНИЯ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ	143
<i>Пролиско Д. А., Колонтаева Т. В.</i> ДОПИРОВАННЫЕ МАНГАНИТЫ.....	144
<i>Пузиновский К. А., Поболь Д. С., Кондратьева Н. А.</i> ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ЛИТОГРАФИЯ.....	145
<i>Пуныко М. А., Щербакова Е. Н.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОРПУСИРОВАНИЯ МИКРОФЛЮИДНЫХ СИСТЕМ «ЛАБОРАТОРИЯ НА ЧИПЕ».....	146
<i>Редьков А. В., Колонтаева Т. В.</i> МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ СВЕТОВОДОВ.....	147
<i>Рогачев К. С., Колонтаева Т. В.</i> СТЕРЕОЛИТОГРАФИЯ – АДДИТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	148
<i>Сацкевич А. И., Колонтаева Т. В.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ НАНОСТРУКТУР	149

<i>Серпиков М. В., Колонтаева Т. В.</i> ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОХИМИИ	150
<i>Серпиков М. В., Балохонов Д. В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИИ ДЛЯ ИНЖИНИРИНГА МАТЕРИАЛОВ	151
<i>Серпиков М. В., Щербакова Е. Н.</i> ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФЕНА В РЕЗИСТИВНЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРАХ	152
<i>Серяков П. А., Самонов М. О., Бруев А. А., Балохонов Д. В.</i> ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛ-ОКСИДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ	153
<i>Силич В. Ю., Щербакова Е. Н.</i> ТЕХНОЛОГИЯ КОРПУСИРОВАНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ В КОРПУСА LCC И QFN ТИПА МЕТОДОМ ГЕРМЕТИЗАЦИИ	154
<i>Стасюк А. Д., Сергеевич О. А.</i> ЯВЛЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ Al_2O_3 И Fe_2O_3 В КАОЛИНЕ «СИТНИЦА» ПРИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ	155
<i>Тимошенко Д. В., Колонтаева Т. В.</i> ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ	156
<i>Тимошенко Д. В., Балохонов Д. В.</i> МЕТАМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН	157
<i>Тумар А. Д., Колонтаева Т. В.</i> СИНТЕЗ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АДСОРБЦИОННЫХ СТРУКТУР	158
<i>Чернявский В. П., Балохонов Д. В.</i> МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ	159
<i>Чернявский В. П., Щербакова Е. Н.</i> ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГИБКИХ ПОДЛОЖЕК В БИО-МЭМС	160
<i>Чимбур А. С., Колонтаева Т. В.</i> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ	161
<i>Чимбур А. С., Балохонов Д. В.</i> КСЕНОБОТЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ	162
<i>Чимбур А. С., Щербакова Е. Н.</i> АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С АДГЕЗИЕЙ В КРЕМНИЕВЫХ МЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯХ	164
<i>Шарапа В. А., Кондратьева Н. А.</i> ОБЗОР И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ ПЛАТ	165

СЕКЦИЯ 4. ОПТИКА, ОПТОЭЛЕКТРОНИКА, ЛАЗЕРНЫЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ

<i>Алешкевич К. В., Шанчук В. А., Артюхина Н. К.</i> МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ПРИЗМЫ СВОБОДНОЙ ФОРМЫ В СРЕДЕ ОПТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ZEMAX OPTICSTUDIO	167
<i>Али-заде Э. Т., Кузнецик В. О.</i> РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ	168
<i>Ардашев В. С., Полубок С. В., Горбаченя К. Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ $Nd:LaAl_{2.07}(B_4O_{10})O_{0.6}$	169
<i>Батырев Р. Н., Шабаетов И. О., Горбаченя К. Н.</i> МАКЕТ КОМПАКТНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИСТОЧНИКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ В ОБЛАСТИ 1,5 МКМ	170
<i>Бельский М. П., Кузнецик В. О.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	171
<i>Букина М. А., Горнак М. В., Горбаченя К. Н.</i> ДАЛЬНОМЕРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ..	172

Войтов А. С., Егоренко М. П., Ефремов В. С. АХРОМАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТИВ-ДУБЛЕТ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ.....	173
Волкова А. О., Погорелов М. Г. ИНТЕРФЕРОМЕТР ФАБРИ-ПЕРО	174
Гайдукевич В. В., Красовский В. В. ВИКСЕЛОНИКА – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ	175
Гордейко Р. В., Маляревич А. М., Шаилов С. Н. ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ СО СДВИГОМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СИЛЬНО ФЛУОРЕСЦИРУЮЩИХ ОБРАЗЦОВ	176
Защепко П. А., Зайцева В. А., Федорцев Р. В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАСОК ОБЛАЧНОСТИ АЛГОРИТМОВ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ RACE И SEN2COR.....	177
Зубко Н. В., Кузнецик В. О. СОВРЕМЕННЫЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ	180
Исачкин Р. Д., Сильвестрович М. О., Горбаченя К. Н., Федорцев Р. В., Кисель В. Э. НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС.....	181
Карцев Н. С., Погорелов М. Г. ЛАЗЕРНО–ЛУЧЕВОЙ КАНАЛ СВЯЗИ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ.....	182
Кирикович В. А., Кузнецик В. О. МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ ЭФФЕКТА НАРЦИССА.....	183
Круковский В. А., Нестерович А. Е., Рыбаченко В. Ю., Юдицкий В. А., Кузнецик В. О. ВИДЫ ДЕФЕКТОВ НА ФОТОШАБЛОНАХ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ	184
Курдюк А. И. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОРОГОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НАКАЧКИ В ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРАХ СВЕТА	185
Липатников А. С., Федорцев Р. В., Гоман Д. А. БЛОК ГЕНЕРАТОРА ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ND:YAG И ND:YVO ₄ ЛАЗЕРОВ	186
Лазарчук А. И., Шишко Т. А., Кисель В. Э. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИНЫ МОДУЛЯЦИИ И ПРОПУСКАНИЯ ПАССИВНОГО ВОЛОКОННОГО РЕФЛЕКТОРА.....	187
Портных Н. А., Хомячкова А. Н., Матвеев В. В. ВЛИЯНИЕ АСФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ	188
Рапинчук М. А., Красовский В. В. КВАНТОВО-КАСКАДНЫЙ ЛАЗЕР – НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА	189
Романцева Е. А., Матвеев В. В. МИНИМИЗАЦИЯ АБЕРРАЦИЙ В ОБЪЕКТИВАХ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ	190
Савина Е. А., Погорелов М. Г. ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА.....	191
Саенко А. В., Зайцева Е. Г., Богдан П. С. О НЕОБХОДИМОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК DLP-ПРОЕКТОРОВ	192
Семенихин Д. А., Хомячкова А. Н., Матвеев В. В. ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	193
Фидюкович Н. Д., Кузнецик В. О. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОГЛАСОВАНИЯ КАНАЛОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ	194
Чергейко С. В., Артюхина Н. К. НЕОБХОДИМЫЙ БАЛАНС ПРИ РАСЧЕТЕ ДОПУСКОВ ОПТИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ АБЕРРАЦИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИК ВАРИООБЪЕКТИВОВ.....	195
Шевченко В. П., Гурина А. В., Артюхина Н. К. ТРЕХЛИНЗОВЫЙ ОБЪЕКТИВ – АПОХРОМАТ	196

Шишко Т. А., Суринович Е. И., Лазарчук А. И., Кисель В. Э. РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЧИРПИРОВАННЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ $\text{Yb}^{3+}:\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$	197

Якубович Т. С., Федорцев Р. В., Гоман Д. А. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ В НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛАХ ПРИ СТАЦИОНАРНОЙ НАКАЧКЕ	198

СЕКЦИЯ 5. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Baolu Yue, Gatskevich E.I. THE CONTRIBUTION OF CHINESE SCIENTISTS TO THE FIFTH INFORMATION REVOLUTIONS	200

Chizu R., Hundzina M. A. DIFFERENCES IN FACTORING APPROACHES IN RUSSIAN AND ENGLISH-LANGUAGE EDUCATION	201

Гришкевич Д. В., Бобученко Д. С. ВЫВОД ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА ТРОПОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОДИНАМИКИ	202

Балабина Я. А., Гацкевич Е. И. ФИЗИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРОВ	203

Войтеховский А. А., Реутская О. Г., Романчук В. М., Князев М. А. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ТЕНЗО- И ВИБРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРИ ПОМОЩИ ДИСКРЕТНЫХ ВЕЙВЛЕТОВ	204

Гулякевич И. М., Бобученко Д. С. СООТВЕТСТВИЕ ПАРАМЕТРОВ СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ ГАЗОВЫМ ЗАКОНАМ	205

Денисов М. О., Матвеев В. В. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ОГРАНИЧЕННЫХ СИСТЕМ	206

Добровольская Е. Д., Габец В. Л. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ЦИФРОВЫХ КАРТ КАПИЕНТА В АППАРАТАХ МЕХАНОТЕРАПИИ	207

Духновская М. В., Бокуть Л. В. ТЕОРЕМА ШТУРМА О ЧИСЛЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ КОРНЕЙ МНОГОЧЛЕНА НА ЗАДАННОМ ОТРЕЗКЕ	208

Змитрович А. Ю., Бобученко Д. С. ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ ВЫСОТЫ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ	209

Илькевич А. А., Духновская М. В., Гацкевич Е. И. БЕЛОРУССКИЙ ВКЛАД В ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕВОЛЮЦИИ	210

Илькевич А. А., Бокуть Л. В. ПРИМЕР ТАРСКОГО	211

Качкан Д. Е., Шарко О. Д., Прусова И. В. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТИ В АЗАРТНЫХ ИГРАХ	212

Колтович А. И., Круталевич Д. Р., Красовский В. В. УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ	213

Кондратьева Н. А. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТЕНТОВ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ	214

Кондратьева Н. А., Хакназаров Б. ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЗОН В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА СТЕНКИ СОСУДОВ	215

Красневский Д. Ю., Ризнооккая Н. Н., Пантелеев К. В. АЛГОРИТМ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ МАЯТНИКА В РЕЖИМЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ПРИ КАЧЕНИИ	216

Кузнецов А. С., Гацкевич Е. И. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ НА РЕЖИМЫ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА В МЕТАЛЛАХ	217
Лебедев К. А., Полонник А. Ю., Гацкевич Е. И. ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	218
Левчук Р. В., Лагунович Н. Л. ДВУХМЕРНОЕ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КРЕМНИЕВОГО N-P-N ТРАНЗИСТОРА	219
Левчук Р. В., Гацкевич Е. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	220
Лось А. П., Бокуть Л. В. ГИПЕРКОМПЛЕКСНЫЕ ЧИСЛА	221
Лось А. П., Гацкевич Е. И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЕРВЕРАМИ	222
Маковская В. М., Красовский В. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ВИНТОВ В СОВРЕМЕННЫХ МЕХАНИЗМАХ	223
Мухидинов Д. Х., Романчак В. М. КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В ШКАЛЕ ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ УЗБЕКИСТАНА И БЕЛАРУСИ	224
Пашко Д. Ю., Бобученко Д. С. ВЫВОД АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРОПОСФЕРЫ ОТ ВЫСОТЫ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И КОНВЕКЦИИ	226
Подобед Г. В., Бокуть Л. В. ВЕРОЯТНОСТЬ ТОГО, ЧТО ДВА СЛУЧАЙНЫХ ЦЕЛЫХ ЧИСЛА ВЗАИМНО ПРОСТЫ	227
Пряжко А. В., Третьяк И. Б., Антошин А. А. ПОРОГ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТОЧЕЧНЫХ ДЫМОВЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ	228
Рижий А. А., Гацкевич Е. И. ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА LINUX	229
Самохвалов Е. А., Прусова И. В. ЗАДАЧИ НА СЛОЖЕНИЕ И УМНОЖЕНИЕ СОБЫТИЙ В ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ	230
Солдатов В. И., Вятчина Т. Г., Коровина С. А., Михайлова А. С., Труфанов А. М., Пушкарев М. С. МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПАРАВЕРТЕБРАЛЬНЫХ МЫШЦ	231
Титова В. О., Пашкевич Я. С., Черный В. В. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ КАК ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ	233
Тошпулотов Шохрух Ботир угли, Князев М. А. ТОПОЛОГИЧЕСКИ НЕТРИВИАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ СИНУС-ГОРДОН	234
Трава М. В., Кондратьева Н. А. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ УМНОЙ ТРОСТИ	235
Хакназаров Б., Гундина М. А. ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ВДОЛЬ ЛИНИИ	236
Царева П. Е., Лисакович М. В., Бокуть Л. В. ПОЧЕМУ ИНТЕГРАЛЫ НЕ БЕРУТСЯ. ТЕОРЕМА ЛИУВИЛЛЯ ОБ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ФУНКЦИЯХ	237
Шпаковский И. Д., Бобученко Д. С. ВЫВОД ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТРОПОСФЕРЫ ОТ ВЫСОТЫ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	238
Юхновская О. В., Гундина М. А., Богдан П. С. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ QQ-PLOT ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ	239

Юхновская О. В., Гундина М. А. НЕСТАНДАРТНАЯ ГРАФИКА В WOLFRAM MATHEMATICA	240
Юхновская О. В. ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ТРЕНДОМ И НЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ	241

СЕКЦИЯ 6. ТЕХНОСФЕРА И МЕНЕДЖМЕНТ СПОРТА

Dong Yang, Zaitseva E. G. ADAPTIVE CALF MUSCLE STRETCHING SIMULATOR.....	243
Gangjian Xiao, Kovel S. G. ANALYSIS OF PREVENTION AND TREATMENT FOR WESTERN ELDERLY MOBILITY IMPAIRMENT: A CHINESE-WESTERN HEALTH CULTURE PERSPECTIVE.....	243
Mingyang Liu, Kovel S. G. INTELLIGENT ANALYSIS OF BASKETBALL PERFORMANCE AND REFEREE DECISION-MAKING IN MODERN COMPETITIONS	244
Mingyang Liu, Scherbakova E. N. GAME STATISTICAL INDICATORS ANALYSIS TO SUPPORT TACTICAL DECISION-MAKING IN BASKETBALL: A CASE STUDY OF THE 2025 FIBA ASIA CUP FINAL	245
Song TingTing, Zaitseva E. G. THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE ANALYSIS OF FACIAL EXPRESSIONS OF ATHLETES TO STUDY THEIR EMOTIONAL STATE	246
Song Yangtian, Zaitseva E. G. THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGY FOR SPRINTER TRAINING.....	247
Sun Qi, Zaitseva E. G. USING ANDROID ROBOTS AS PARTNERS FOR WUSHU TRAINING.....	248
Асатрян Б. М., Карнейчик В. В. ИНДУСТРИЯ СПОРТА КАК ОБЛАСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МАРКИ.....	249
Ахмадов К. В., Самохвал П. М. ТРЕНАЖЕР ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ МЫШЦ СПИНЫ	250
Бекар Е. Е., Карнейчик В. В. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В БЕЛОРУССКОЙ СПОРТИВНОЙ ОТРАСЛИ	251
Бекар Е. Е., Ломтев А. А. МОНИТОРИНГ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ.....	252
Голуб В. И., Карнейчик В. В. ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ВЗАИМОСВЯЗЬ ФУНКЦИЙ МЕНЕДЖМЕНТА	253
Гулевич О. Н., Самохвал П. М. ТЕНЗОМЕТРИЯ В СПОРТИВНОЙ И ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ГИМНАСТИКЕ	254
Гулевич О. Н., Самохвал П. М. ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ФИГУРНОГО КАТАНИЯ.....	255
Жарикова Е. В., Самохвал П. М. ТРЕНАЖЕР ЛАТЕРАЛЬНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ.....	256
Казловский В. М., Карнейчик В. В. СПОРТИВНОЕ СПОНСОРСТВО В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	257
Казловский В. М., Ломтев А. А. ДАТЧИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В АВТОСПОРТЕ	258
Коцур В. И., Ломтев А. А. ИЗМЕРЕНИЕ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА ПРИ УДАРЕ КЛЮШКОЙ ПО ШАЙБЕ.....	259
Новикова И. Д., Катибникова В. А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕДВИЖНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СТАНЦИИ НА 8 КАМЕР	260
Новикова И. Д., Ломтев А. А. ДАТЧИК РЕГИСТРАЦИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ СТВОРА ВОРОТ ФУТБОЛЬНЫМ МЯЧОМ	262
Новикова И. Д., Карнейчик В. В. РЫНОК СПОРТИВНЫХ СОБЫТИЙ.....	262

Павленко А. В., Барановская Д. И. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛА В МКСК «МИНСК-АРЕНА»	263
Полозок Л. П., Гамзатов Ф. З., Закерничный В. И., Мурзинков В. Н. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НАГРУЗКИ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ СПОРТИВНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ	264
Полулех К. В., Катибникова В. А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОСТАНОВОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНЦЕРТНОГО МЕРОПРИЯТИЯ НА 4000 ЗРИТЕЛЕЙ	266
Сайко А. В., Барановская Д. И. СПОРТИВНОЕ СПОНСОРСТВО КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОДВИЖЕНИЯ БРЕНДА	267
Сайко А. В., Катибникова В. А. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СУДЕЙСКИХ МЕСТ ДЛЯ ФУТБОЛЬНОГО СТАДИОНА	268
Сайко А. В., Ломтев А. А. КОНТРОЛЬ КАСАНИЯ МЯЧА ЗА ПРЕДЕЛАМИ ИГРОВОЙ ЗОНЫ В ВОЛЕЙБОЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ	269
Сманцер М. Ю., Катибникова В. А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С БИОМЕТРИЕЙ ДЛЯ ЗОНЫ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА В АДМИНИСТРАТИВНОМ ЗДАНИИ СПОРТКОМПЛЕКСА	270
Турлай М. А., Солонец А. В. АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ МЫШЦ ЖИВОТА С АНАТОМИЧЕСКИМ ПОВТОРЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ СПИНЫ	272
Турлай М. А., Солонец А. В. КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ МЫШЦ ЖИВОТА С АНАТОМИЧЕСКИМ ПОВТОРЕНИЕМ ДВИЖЕНИЯ СПИНЫ ПРИ ПОМОЩИ СЕГМЕНТИРОВАННОЙ ПАНЕЛИ	273
Федорова С. А., Махинова М. В. ПРИМЕНЕНИЕ НОСИМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНОМ ПРОЦЕССЕ	274
Федосенко Е. Р., Ломтев А. А. НОСИМЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОВ	275
Червяков В. А., Барановская Д. И. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ВИДЕОГОЛ» ДЛЯ ЛЕДОВОЙ АРЕНА	276
Шиманович А. В., Барановская Д. И. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ СУДЕЙСТВА В ЛЫЖНЫХ ГОНКАХ И БИАТЛОНЕ В ЦЕНТРАХ ПО ЗИМНИМ ВИДАМ СПОРТА	277
Го Дацзин, Ли Чжунвэнь, Ковель С. Г. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОАНАЛИЗА ДЛЯ РАЗВИТИЯ КООРДИНАЦИОННЫХ СПОСОБНОСТЕЙ У ФУТБОЛИСТОВ	278

СЕКЦИЯ 7. СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Асадчая Д. Ю., Соломахо В. Л. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	280
Важник А. С., Соломахо В. Л. РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА	281
Воронова Т. С., Романчак В. М. ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	283
Гончеров М. В., Семенчук М. В., Соломахо В. Л. СПЕЦИАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА СОПРЯГАЕМОГО КОНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА СЕДЛА КЛАПАНА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	284

Грабина В. С., Филонова М. И. ВЛИЯНИЕ МЕТРОЛОГИИ НА ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА И НАДЕЖНОСТИ ПРИБОРОВ	285
Гришаева М. К., Бекназарова А. Т., Ганич А. М., Филатьева А. Д., Бразовская Н. Г. ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ, МОДЕЛИРОВАНИЮ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ДАННЫХ О ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЗНАЧИМЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	286
Гуринович А. А., Серенков П. С. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ	287
Дербенев В. В., Соломахо В. Л. РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ АККРЕДИТАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ	288
Жук Т. А., Соломахо В. Л. РЕГУЛЯТОРНЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ НА БАЗЕ GMP	289
Закревская Е. В., Токарь О. В. АКТУАЛЬНОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА ОАО «АМКОДОР»	290
Кацапов Н. В., Александрович А. С., Гомма М. А. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ	291
Качанова Ю. И., Серенков П. С. МИНИМИЗАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО РИСКА НЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛИ ПРОЦЕССА ИНСПЕКЦИИ В ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ	292
Кисляков Н. Н., Давыдова Е. А. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В РАМКАХ БРИКС	294
Кубрин Д. С., Гомма М. А. КРИТЕРИИ И АЛГОРИТМ ВЫБОРА СПОСОБА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ	295
Кубрин Д. С., Коробко Ю. С. МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ	296
Кубрин Д. С., Николайчик Ю. А., Серенков П. С. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫЕ ФОРМЫ	297
Кубрин Д. С., Николайчик Ю. А., Серенков П. С. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ПРИОРИТЕТОВ ОБЪЕКТОВ В СЛУЧАЕ ИХ БОЛЬШОГО КОЛИЧЕСТВА	298
Кулеш С. А., Юхно Е. К., Сергеевич О. А. ОБНАРУЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОСФАТОВ В СТИРАЛЬНЫХ ПОРОШКАХ	299
Лужинская А. И., Серенков П. С., Романчак В. М. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАДАЧ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ	300
Лужинская А. И., Серенков П. С., Романчак В. М. МЕТОД МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ ШКАЛЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	301
Лужинская А. И., Коробко Ю. С. ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КАЛИБРОВКЕ МЕДИЦИНСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ	302
Лужинская А. И., Гомма М. А. ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ КИМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ	303

Манглиева З. А., Маркович П. Л., Соломахо В. Л. ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРСОНАЛА ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН НА БАЗЕ МОДЕЛИ КОМПЕТЕНЦИЙ.....	304
Митюшина Ю. С., Серенков П. С. ОБЗОР НАЦИОНАЛЬНЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ФАСОВАННЫМ ТОВАРАМ	305
Нежевец Д. И., Акунец Е. В., Давыдова Е. А. ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ	307
Панько В. В., Соколовский С. С. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	307
Панько В. В., Соколовский С. С. АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОГРЕШНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....	309
Рахмонова С., Давыдова Е. А., Чуешков В. В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ В УЗБЕКИСТАНЕ.....	310
Рутковская Е. Н., Давыдова Е. А. О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЬНОЙ (НАДЗОРНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РЫНКАХ	311
Сафроненкова В. С., Давыдова Е. А. КОМПЕТЕНТНОСТЬ ПЕРСОНАЛА КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....	312
Селятыцкий А. А., Серенков П. С. КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИЗМЕРЕНИЙ В РАМКАХ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ...	313
Селятыцкий А. А., Гомма М. А. ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ АНАЛИТИКА И ПРЕДИКАТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН.....	314
Селятыцкий А. А., Коробко Ю. С. ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИИ БЛОКА ПИТАНИЯ КОМПЬЮТЕРА	315
Старовойтова В. Г., Серенков П. С. ИСКЛЮЧЕНИЕ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ (ПРОМАХОВ) В РЕЗУЛЬТАТАХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ПРИБОРОВ ТЕПЛОВОЙ ОБЛУЧЕННОСТИ «ТКА-ИТО»	316
Тихонова Е. А., Спесивцева Ю. Б. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОАО «АМКАДОР»	318
Шишко Д. Д., Токарь О. В. АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ САМООЦЕНКИ ДЛЯ ОАО «АМКОДОР-УНИМОД»	319
Atul R. Chaudhari, Dipak P. Patil A COMPACT CPW FED MEANDERLINE DUAL-BAND MICROSTRIP ANTENNA FOR L AND 2.4 GHZ ISM BAND APPLICATIONS	320
Baviskar P. V., Abhishek Jadhav, Anurag Kushare, Prasad Pund, Prathmesh Jadhav ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATIONAL TECHNOLOGY: AN ERP-BASED APPROACH TO TEACHER WORKLOAD MANAGEMENT AND DIGITAL BURNOUT MITIGATION	321
Manisha Ghumare, Sandip Shukla, Dipak P. Patil, Pramod S. Aswale PREVENTING INDIRECT PROMPT INJECTION IN AUTONOMOUS SYSTEMS THROUGH METADATA ISOLATION: SAFEGUARDING THE AGENTIC FRONTIER	322
Stavan Nathani, Prasad Patil, Ashok Pasi, Sahdev Patil, Dube A. S. DESIGN AND ANALYSIS OF HEAT EXCHANGER FOR PULP INDUSTRIES	323

<i>Manas S. Sonawane, Dipak P. Patil</i> THE ENTREPRENEURSHIP OF SPEED: A BUSINESS MODEL FRAMEWORK FOR FORMULA 1 TECHNOLOGY SPIN-OFFS.....	324
<i>Nalavade K. C., Nisarg Pansora, Atharv Gawali, Amit Arote, Charulata Sonar</i> A DUAL-STAGE AI HEALTHCARE SYSTEM FOR BRAIN CANCER RISK PREDICTION AND BRAIN TUMOR DETECTION	326
<i>Pramod S. Aswale, Dipak P. Patil</i> LIGHTWEIGHT, ATTACK-RESISTANT DEEP GENERATIVE FRAMEWORK FOR INDUSTRIAL CYBER-PHYSICAL SYSTEM ANOMALY DETECTION	327
<i>Suhas R. Kale, Dipak P. Patil</i> A FOAM SUBSTRATE BASED COMPACT TRIPLE-BAND WEARABLE ANTENNA FOR 5G SUB-6 GHz (N77/N78), WI-FI, AND ISM APPLICATIONS	328

Научное издание

**НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Материалы

19-й Международной научно-технической конференции
молодых ученых и студентов

15–17 апреля 2026 года
Минск, Республика Беларусь

Ответственный за выпуск *К. В. Пантелеев*

Оформление и компьютерная верстка *Н. Н. Ризноокая, Д. В. Балохонов*

Подписано в печать 13.04.2026. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 40,23. Уч.-изд. л. 31,07. Тираж 60. Заказ 224.

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.