

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
ТЕОРИЯ, ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА**

Материалы XV Международной  
интернет-конференции молодых ученых,  
аспирантов, студентов  
(20 ноября – 31 декабря 2023 г.)

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета  
2024

УДК 685.325.05

И66

**И66** **Инновационные** технологии: теория, инструменты, практика : материалы XV Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов, студентов (20 ноября – 31 декабря 2023 г.) / ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024. – 579 с.

ISBN 978-5-398-03176-8

Конференция посвящена вопросам системных исследований и моделирования информационно-измерительных и управляющих систем, систем телекоммуникации и связи, энергетики и энергоресурсосбережения, информационных технологий и средств автоматизации, аппаратно-программного обеспечения информационно-управляющих систем.

Представлены работы молодых ученых, аспирантов, а также лучшие работы студентов.

Публикуемые результаты исследований могут быть интересны молодым исследователям, преподавателям и специалистам, интересующимся теоретическими и прикладными разработками в данной предметной области.

#### **Редакционная коллегия**

*В.В. Черняев*, доцент, канд. техн. наук

*Б.В. Кавалеров*, доцент, д-р техн. наук

*С.В. Мишурунских*, доцент, канд. техн. наук (отв. редактор)

*А.Б. Петроченков*, доцент, д-р техн. наук

*Н.М. Труфанова*, профессор, д-р техн. наук

*Р.А. Файзрахманов*, профессор, д-р экон. наук

*А.Г. Щербинин*, профессор, д-р техн. наук

*А.А. Южаков*, профессор, д-р техн. наук

**Рецензент:** заслуженный деятель науки РФ, заслуженный машиностроитель Республики Башкортостан, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета *Г.Г. Куликов*

УДК 685.325.05

ISBN 978-5-398-03176-8

© ПНИПУ, 2024

**Секция 1**

**НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ**

**А.Н. Рагозин, А.Д. Плетенкова**

Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет), Челябинск

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ БИОМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ**

В физиологических исследованиях и клинической практике важное место занимает анализ биомедицинских сигналов как колебательных процессов. Технология цифрового спектрального анализа применяется для оценки структуры variability (структуры колебаний) биомедицинских сигналов, являющихся результатом преобразования физиологических величин датчиками регистрирующей аппаратуры в функции времени. Рассматривается методика применения технологии цифрового спектрального анализа для целей исследования биомедицинских сигналов, что позволяет реализовать построение цифрового двойника различных физиологических систем регуляции в организме человека.

**Ключевые слова:** биомедицинские сигналы, цифровой спектральный анализ, цифровой двойник, цифровая медицина.

**A.N. Ragozin, A.D. Pletenkova**

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk

## **APPLICATION OF DIGITAL SPECTRAL ANALYSIS TO ESTIMATE THE VARIABILITY STRUCTURE OF BIOMEDICAL SIGNALS**

The analysis of biomedical signals as oscillatory processes takes an important place in physiological research and clinical practice. The technology of digital spectral analysis is used to assess the structure of variability (structure of oscillations) of biomedical signals, which are the result of conversion of physiological values by sensors of recording equipment in the function of time. The technique of digital spectral analysis technology application for the purposes of biomedical signals research is considered.

**Keywords:** biomedical signals, digital spectral analysis, power spectral density, digital medicine.

В связи с развитием цифровой медицины в целях диагностики, мониторинга и исследований, построения цифровых двойников различных физиологических систем регуляции широко применяется тех-

нология цифрового спектрального анализа биомедицинских сигналов (БМС) [1–8]. В качестве меры распределения по частоте колебательной активности (мощности) БМС используется статистическая оценка спектральной плотности мощности (СПМ) БМС. Считается, что различные частотные участки СПМ БМС несут информацию о различных регуляторных механизмах при протекании физиологических процессов в организме человека. Используемые БМС могут быть стационарными (соответствуют физиологическим механизмам, динамика и структура которых остаются неизменными во времени) и нестационарными (за время регистрации БМС физиологические механизмы претерпевают существенные изменения, например, регистрация зависимости ритма сердца в ходе проведения функциональной пробы).

Предлагается, наряду с вычислением спектра БМС (усредненной статистической характеристикой), вычислять дисперсию (или среднеквадратическое отклонение (СКО)) спектра БМС, что практически не усложняет алгоритм спектрального анализа. При этом величина СКО анализируемого пика спектра не должна превышать величину самого пика спектра, иначе соответствующий пик спектра нельзя считать достоверным и соответствующим стационарной спектральной компоненте, соотносимой с регуляторным физиологическим механизмом, равномерно протекающим во времени. Исследуемые БМС приведены на рис. 1.

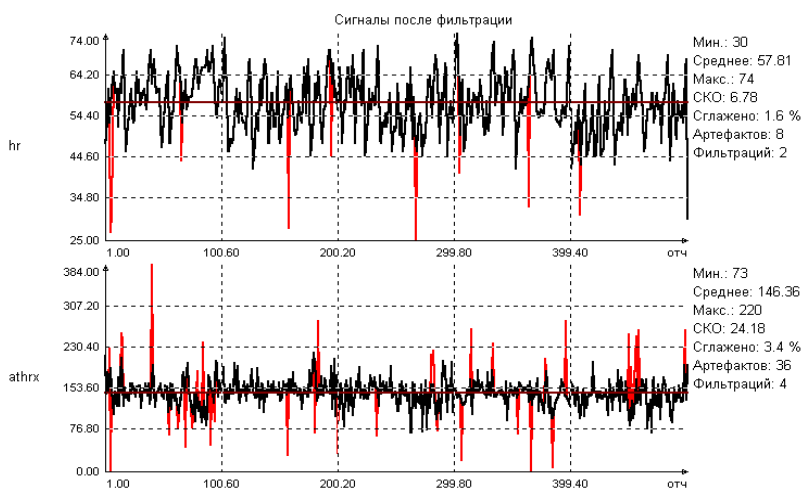


Рис. 1. Сигналы регистрирующей аппаратуры

На рис. 1 в качестве примера приведены сигналы регистрирующей аппаратуры, наблюдаемые одновременно: *hr* – кардиотахограмма, *athrx* – величина пульсовой волны аорты, фиксируемая в моменты удара сердца методом импедансометрии. Красным цветом выделены пики на графиках зависимостей *hr* и *athrx*, распознанные как артефакты. Выявление артефактов производится автоматически. Удаленные фильтром артефактов отсчеты сигналов затем интерполируются по соседним значениям.

На рис. 2 приведены исходные сигналы с удалёнными артефактами (см. рис. 1), приведенные методом интерполяции к равномерной дискретизации по времени с постоянным шагом 0,4 с. При этом зависимость кардиотахограммы *hr* преобразована в зависимость интервалограммы R-R ритма сердца (мс).

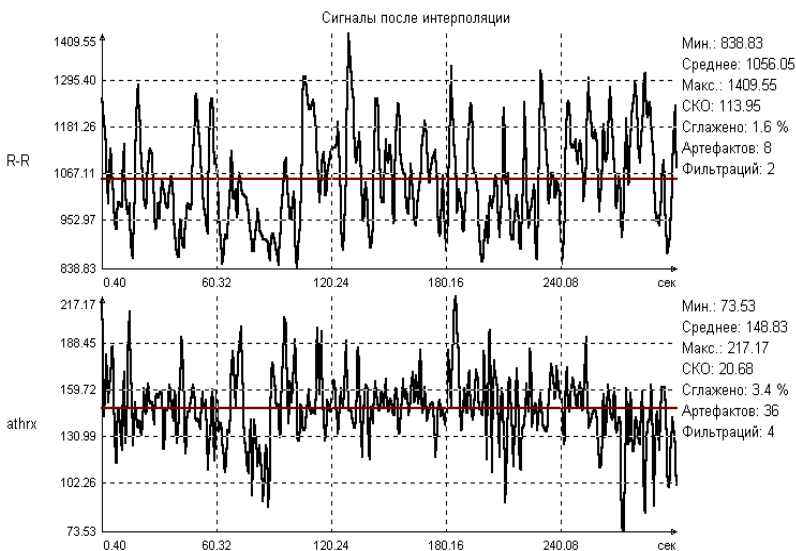


Рис. 2. Сигналы регистрирующей аппаратуры после удаления артефактов и интерполяции

На рис. 3 отображена статистика распределения значений зависимостей R-R и *athrx* в виде распределения их гистограмм с расчетом общепринятых статистических показателей.

Количество и тип одновременно анализируемых сигналов определяется используемой регистрирующей аппаратурой.

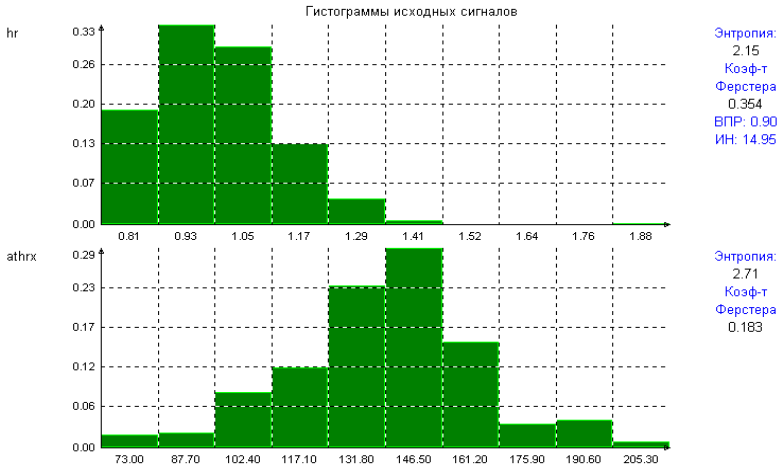


Рис. 3. Статистические гистограммы исходных интерполированных сигналов

На рис. 4 отображены исходные сигналы R-R и athrx (графики слева), а также результаты их спектрального анализа (графики справа).

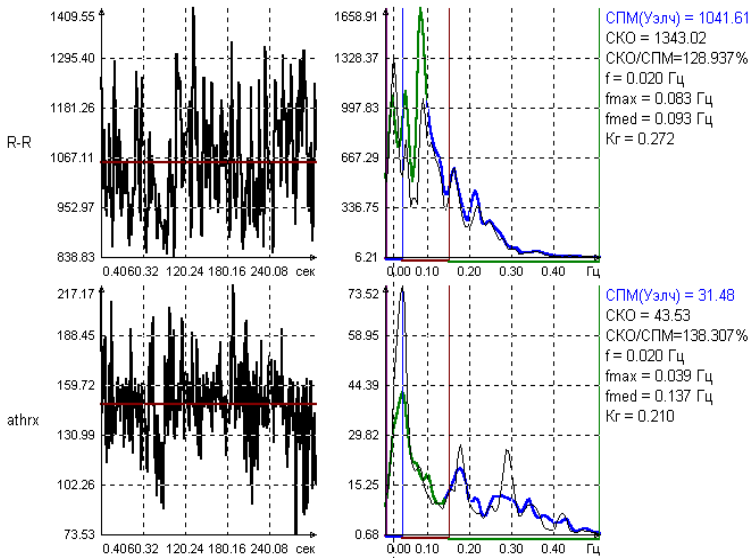


Рис. 4. Спектральный анализ сигналов R-R и athrx

Результаты спектрального анализа отображены в виде графика классического спектра (жирная линия), а также в виде графика дисперсии (или СКО) спектра (тонкая линия). На графиках спектрального анализа расположена вертикальная линия нониуса. Числовые значения справа от графиков приводятся в соответствии с расположением линии нониуса.

Показано, что на частоте  $f = 0,02$  Гц отношение СКО низкочастотного (НЧ) пика спектра R-R к величине самого пика спектра составляет  $\text{СКО/СПМ} = 1,289$  (128,937 %), что свидетельствует о нестационарности колебаний R-R в НЧ диапазоне. НЧ колебания  $\text{atr}x$  в диапазоне 0,02 Гц носят также нестационарный характер ( $\text{СКО/СПМ} = 138,307$  %). Из рис. 4 видно, что пик спектра R-R на частоте  $f = 0,1$  Гц отражает стационарные колебания.

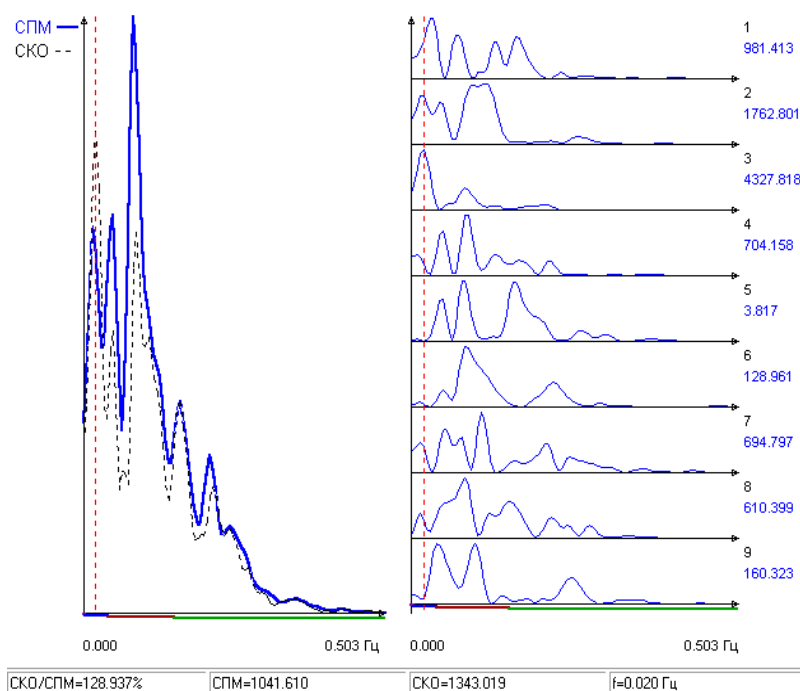


Рис. 5. Анализ динамики во времени периодограмм сигнала R-R



Классический спектр в данном примере рассчитан методом Уэлча по девяти периодограммам, вычисляемым по 100-секундным смещенным друг относительно друга с перекрытием 50 % коротким отрезкам всей записи анализируемых сигналов. Рассчитанные отдельные периодограммы R-R зависимости (спектры, вычисляемые по 100-секундным отрезкам) изображены на рис. 5. Динамика изменения периодограмм во времени позволяет судить о стационарном или нестационарном характере анализируемого сигнала на различных частотах спектра.

Из анализа рис. 4 и 5 следует, что в силу изменчивости во времени исследуемой зависимости БМС выборочные спектры (периодограммы) будут различаться по форме. Дисперсия значения какого-либо пика на рассматриваемой частоте результирующей СПМ (полученной в результате усреднения выборочных спектров) отражает меру разброса значений пиков выборочных спектров на рассматриваемой частоте.

Важной характеристикой вычисляемой СПМ (вычисляемого спектра) зависимости БМС является статистическая достоверность её значений на различных частотах.

При достижении величины дисперсии пиков СПМ определённых значений их нельзя считать статистически достоверными. Например, если значение СКО определенного пика СПМ БМС превышает величину этого пика, то необходимо сделать вывод, что рассматриваемый пик СПМ БМС сформирован не регулярным колебанием с определенной частотой, присутствующим в анализируемой зависимости БМС, а некоторой нерегулярной последовательностью одиночных волн (всплесков, нестационарностей).

При анализе БМС кроме расчёта зависимости СПМ необходим расчёт также зависимости СКО СПМ с оценкой доверительных интервалов распределения величины пиков СПМ, наиболее значимых для физиологической интерпретации. Это позволит предотвращать ошибки в физиологической интерпретации, следующие из анализа формы СПМ БМС.

### **Библиографический список**

1. Хаютин В.М., Лукошкова Е.В. Спектральный анализ колебаний частоты сердцебиений: физиологические основы и осложняющие его явления // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 1999. – Т. 85, № 7. – С. 893–909.

2. Рагозин А.Н. Информативность спектральных показателей variability сердечного ритма // Вестник аритмологии. – 2001. – № 22. – С. 38–40. – URL: <http://vestar.ru/atts/1563/1563ragozin.pdf>

3. Адаптивно-компенсаторная variability ритма сердца у студентов / С.И. Астахов, А.В. Ненашева, А.А. Астахов, Н.В. Столярова, А.Н. Рагозин // Вестник ЮУрГУ. Сер. Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 33–41. DOI: 10.14529/ozfk14.04.05

4. Показатели variability ритма сердца и фотоплетизмограммы в оценке уровня адаптации у студентов на рабочую экзаменационную нагрузку / С.И. Астахов, А.В. Ненашева, А.А. Астахов, Н.В. Столярова, А.Н. Рагозин // Научный поиск: материалы Седьмой научной конференции аспирантов и докторантов. Естественные науки. – 2015. – С. 57–61.

5. Исследование интегративной деятельности сердца и сосудов с помощью амплитудно-фазовых частотных характеристик / Л.Я. Доцоев, А.Н. Рагозин, А.М. Усынин, А.А. Астахов, В.Ф. Тележкин // Вестник науки и образования Северо-Запада России. Сер. Прикладная физика. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 1–15. – URL: <http://vestnik-nauki.ru/2017-т-3-№3-2017-в-3-№3>

6. Применение спектрального и когерентного анализа физиологических сигналов при исследовании функциональных расстройств вегетативной нервной системы и нарушении сердечного ритма школьников / А.Н. Рагозин, А.М. Усынин, В.Ф. Тележкин, Л.Я. Доцоев, А.Д. Плетенкова, А.А. Астахов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. Серия «Прикладная физика». – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 1–12. – URL: <http://vestnik-nauki.ru>

7. Heart rate variability and photoplethysmogram indicators in assessment of adaptation levels in students experiencing examination loads / S.I. Astakhov, A.V. Nenasheva, A.A. Astakhov, A.N. Ragozin // *Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche*. – 2018 March. – № 177 (3 Suppl 1). – P. 1–8. DOI: 10.23736/S0393-3660.17.03722-6

8. Ragozin A.N., Telezhkin V.F. The Statistical Accuracy of the Power Spectrum of the Signal of Heart Rate Variability // *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. – 2018. – Vol. 18, no. 4. – P. 52–58. DOI: 10.14529/ctcr180405

## Сведения об авторах

**Рагозин Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Защита информации», доцент кафедры «Инфокоммуникационные технологии высшей школы электроники и компьютерных наук» Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), г. Челябинск, e-mail: ragozinan@susu.ru

**Плетенкова Анастасия Дмитриевна** – аспирантка, преподаватель кафедры «Защита информации» Высшей школы электроники и компьютерных наук Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета)», г. Челябинск, e-mail: pletenkovaad@susu.ru

**S.K. Ruzimov, Jianzhong Zhang**

Southeast University, China, Nanjing

## **A COMPREHENSIVE STUDY OF FAULT DETECTION IN INDUCTION MOTORS USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS**

It is crucial for industries to detect faults in induction motors before they occur or lead to complete shut-down. Employing condition monitoring techniques and utilizing machine learning offer significant potential in fault detection. Machine learning possesses the capability to effectively harness and utilize its power for fault detection. Addressing faults in induction motors in a timely manner is particularly important to prevent losses. The application of machine learning algorithms in fault detection within this domain provides a reliable and efficient solution for preventive maintenance. This paper provides a comprehensive overview of the applications of machine learning algorithms in detecting faults in induction motors. Additionally, it discusses the future prospects and challenges associated with developing efficient machine learning-based fault detection systems.

**Keywords:** induction motor, machine learning, Artificial Neural Network,  $k$ -Nearest Neighbor.

The early detection of faults in induction motors offers the advantage of minimizing downtime and maximizing production. Researchers have been studying the maintenance and failure analysis of induction motors for a long time [1]. In the past, fault detection in induction motors relied on current and vibration measurements. Common methods used were overcurrent, overvoltage, and earth-fault detection. However, with advancements in technology, a combination of traditional and modern approaches has emerged as an efficient technique for detecting faults in induction motors. Predictive maintenance, which is based on condition-based monitoring of the motors, is crucial for reducing downtime in modern industries [2]. The process of fault detection involves four main components: (a) identifying the location of the fault, (b) determining the faulty parts, (c) understanding incipient failures and their causes, and (d) predicting patterns of faults. Fault detection can be approached as both a classification problem and a pattern recognition problem. Machine learning (ML) algorithms have proven to be powerful tools for solving classification problems. As a result, researchers

in the field of condition monitoring have been drawn to the application of artificial intelligence (AI) based on machine learning algorithms. Fault detection in induction motors (Im) typically involves several stages, including data acquisition, data processing, feature extraction, and the translation of ML algorithms for fault recognition [3]. AI-based fault detection systems often require features to develop input vectors for ML algorithms. The data is preprocessed using feature extraction algorithms to create an input feature vector for ML algorithms to classify faults. Sometimes, independent component analysis (ICA) is utilized to transform the high-dimensional vector into a lower-dimensional vector, facilitating analysis and recognition. The feature vector is then used as an input for developing AI-enabled fault identification systems. Various techniques such as genetic algorithms, particle swarm optimization, convex optimization, and local learning have been employed for feature selection and extraction [4]. ML algorithms like  $k$ -Nearest Neighbor ( $k$ -NN) [5], Artificial Neural Network (ANN) [6], Support Vector Machines (SVM) [7], Decision Trees [8] and deep learning [9] have been effectively utilized in developing AI-based systems. Deep learning has also gained attention from researchers in recent times for fault detection. The paper is divided into different sections. Section 2 focuses on machine learning algorithm-based condition monitoring and fault diagnosis. Section 3 includes discussions on limitations and future possibilities of machine learning-based fault detection algorithms. Finally, Section 4 concludes the paper.

Applying machine learning algorithms to condition monitoring of induction motors (Im) involves signal processing of raw data. Real-world implementation of artificial intelligence techniques requires feature extraction and feature vectors as input. Various types of analyses, such as frequency-domain analysis, time-domain analysis, and time-frequency analysis, are performed to develop fault recognition patterns. Statistical features like mean, standard deviation, kurtosis, and skewness are estimated to generate the feature vector. Frequency domain analysis techniques like Fast Fourier Transform (FFT) and bi-spectrum analysis are used for signal analysis. Time-frequency analysis techniques like wavelet analysis, short-time Fourier transform, wavelet packet transformation, Hilbert-Huang transform, and sparse decomposition are employed for feature extraction.

Advancements in computational power have greatly facilitated the application of machine learning algorithms in fault detection. Concepts such as the Internet of Things, remote diagnostics, and wireless monitoring have revolutionized fault detection methods. Consequently, there is a significant accumulation of data for developing more accurate fault detection systems. However, the availability of large amounts of data also poses challenges in terms of data pre-processing. Data fusion and dimensionality reduction have become integral parts of fault detection systems. For example, Principal Component Analysis (PCA) has been used for dimensionality reduction in data obtained from Fast Fourier Transform [8]. In another study, PCA was applied to preprocess vibration signals and reduce the dimension of the feature vector without compromising system performance. Additionally, the use of poly-coherent composition spectrum (p-CCS) in conjunction with data fusion techniques has been employed for fault diagnosis.

The main objective of SVM is to create a decision boundary that maximizes the separation between two classes in the data. By achieving a wider separation, SVM aims to improve the classification accuracy. SVM is particularly useful in cases with small databases and machine fault detection, as it proves to be an effective classification tool. Due to its attractive features and strong empirical performance, SVM has gained popularity in the field of machine fault detection. It is commonly used for binary classification, where the algorithm draws a hyperplane to optimally separate the two classes in the given space. This hyperplane can then be used to classify new data points. The basic idea of SVM is depicted in Fig. 1. In SVM, there are two classes represented by positive (+) and negative (-) signs. The algorithm draws a boundary, known as a hyperplane, to separate these two classes. The objective is to position the boundary in a way that maximizes the distance between the boundary and the nearest data points from both classes. This distance is referred to as the margin, and it strikes a balance between margin level and error [10].

Multiple hyperplanes can be drawn to separate the two classes, as illustrated in Fig. 1. However, the hyperplane that offers the maximum distance from the nearest data points on either side of the classes is selected to achieve the best fit and accuracy. Fig. 2 depicts the hyperplane that optimally segregates the two classes: positive (+) and negative (-) signs. In the end, the SVM classification problem is solved using an optimization technique that aims to

maximize the margin and minimize the error. Subsequently, SVM models are developed to predict the class of new data. Unlike the traditional approach in machine learning, which focuses on minimizing error on the training dataset (referred to as empirical risk minimization), SVM is based on structural risk minimization [10]. This allows SVM to efficiently handle large datasets.

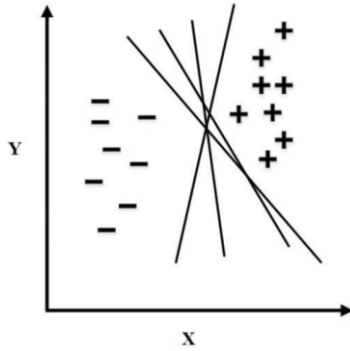


Fig. 1. Positive and negative class

SVM is a powerful tool used for classifying faults in induction motors (Ims). The selection of kernel functions directly impacts the performance of SVM classifiers. To develop efficient fault detection systems, various SVM structures have been developed recently. For example, the particle swarm optimization algorithm and least square-SVM were proposed for diagnosing motor bearing faults.

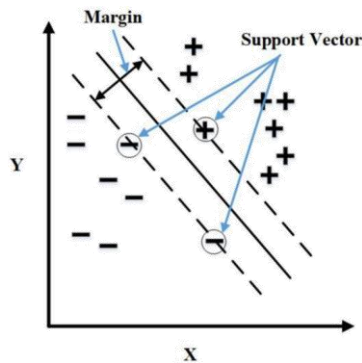


Fig. 2. Optimal separating hyperplane

Higher-order statistics techniques were combined with SVM for condition monitoring and fault diagnosis in rotating machines [6]. Acceleration signals' full spectrum was utilized as a feature input vector for SVM to analyze rotor faults. A hybrid intelligent technique based on wavelet transform, principal component analysis, and twin SVM was presented for classifying multiple faults in rotating machines. Empirical mode decomposition (EMD) along with weighted least square SVM was used to enhance fault detection system performance. Weighted least square SVM was employed to suppress high-frequency intermittent components and non-Gaussian noises. Different SVM models, such as c-SVC and  $\mu$ -SVC, with four kernel functions, were developed for fault classification using 16ransude16cal features calculated from vibration signals under healthy and faulty conditions. A methodology combining pseudo-Wigner-Ville Distribution (PWVD) and SVM was demonstrated for time-domain feature extraction and fault identification with acoustic emission signals [3]. The practical application and industry needs have motivated researchers to improve SVM for fault prognosis and diagnosis. Multiclass SVM was used with feature extraction based on binary particle swarm optimization algorithm from vibration data [10]. Empirical mode decomposition and multi-class 16ransudetive SVM were combined to diagnose faults in gear reducers. Feature extraction utilizing statistical parameters from wavelet packet transform (WPT) was employed along with distance evaluation technique (DET) and a support vector regression (SVR)-based generic multi-class solver for fault detection [4]. SVM based on a modified shuffled frog-leaping algorithm (MSFLA) was presented for efficient fault classification [10]. Features for the modified SVM were extracted from the wavelet energy time spectrum and power spectrum of the maximum wavelet energy level. A comparison was conducted between different machine learning algorithms and SVM to develop an efficient system [5]. Additionally, a comparative study was performed between ANN and SVM for detecting bearing faults based on statistical features.

$k$ -Nearest Neighbors is a simple machine learning method commonly used for classification problems. It is a non-parametric and instance-based learning approach that groups similar items together.  $k$ -NN falls under the category of supervised learning and finds significant applications in pattern recognition and data mining. In the  $k$ -NN algorithm, specimens or samples belonging to the same class tend to be close to each other in the feature space. Each sample is represented by a feature vector consisting of values



$a_1(x), a_2(x), \dots, a_n(x)$ , where  $n$ -dimensional space  $\mathbb{R}_n$  is considered. The similarity between samples is determined using the Euclidean distance. For a given random sample  $x$  with a feature vector, the distribution of the sample is represented. The distance between two samples,  $x_i$  and  $x_j$ , is defined as  $d(x_i, x_j)$ , where

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_r \ln \left( a_r(x_i) - a_r(x_j) \right)^2}. \quad (1)$$

The target function in  $k$ -Nearest Neighbors ( $k$ -NN) can have either real-valued or discrete-valued outputs. In the  $k$ -NN algorithm, each training example  $(x, f(x))$  is included in the list of training examples. When it comes to classifying a query instance  $x_q$ , the algorithm identifies the  $k$  instances  $(x_1, x_2, \dots, x_k)$  from the training samples that are closest to  $x_q$ .

$$f(x_q) \leftarrow \operatorname{argmax}_{v \in V} \sum_{i=1}^k \delta(v, f(x_i)), \quad (2)$$

where  $\delta(a, b) = 1$  if  $a = b$  and where  $\delta(a, b) = 0$  otherwise.

$k$ -NN is an instance-based learning algorithm that has proven effective in fault classification problems. In one study, authors proposed a bearing health monitoring system based on feature extraction from spectral kurtosis and cross-relation, combined with principal component analysis and  $k$ -NN. Another advanced fault severity detection model based on  $k$ -NN was developed using redundant statistical features estimated from wavelet packet transform. For unbalanced fault detection, a  $k$ -NN algorithm was employed with feature extraction from vibration signals. Multiscale energy analysis of discrete wavelet transformation was investigated to generate a low-dimensional feature vector for  $k$ -NN classifiers in machine fault diagnosis [10].

A condition monitoring system utilizing  $k$ -NN classifiers was developed using load and acceleration indices as features extracted from vibration signals, along with principal component analysis for dimensionality reduction. A bearing fault diagnosis system was demonstrated using low-dimensional features extracted by Hilbert Huang Transform (HHT) as an input vector for the  $k$ -NN classifier. In another study, a multi-fault detection system was based on feature extraction from acoustic signals and used as input for the  $k$ -NN algorithm. Lein and Zuo presented a weighted  $k$ -NN approach for identifying the severity of gear cracks by employing a two-stage feature selection and weighting technique (TF SWT) using Euclidean distance evaluation technique (EDET). A fault detection method based on  $k$ -NN was developed by decomposing the  $k$ -NN distance using an isolation

index. The selection of the parameter  $k$  in the  $k$ -NN algorithm is crucial for efficient implementation and should be wisely chosen.

ANN is a highly versatile tool for conducting non-linear analyses. ANN operates based on the principles of the biological nervous system and the processing of information in the brain. The most common configuration of an ANN consists of three layers: the input layer, the hidden layer, and the output layer. An ANN can be represented by a network of connections between the input layer and the hidden layer, with each connection having a specific weight and associated bias. The ANN consists of interconnected units known as artificial neurons, which mimic the behavior of neurons in the biological brain. These interconnected units transmit signals similar to the synapses found in biological neurons.

ANN takes an input  $x_1, x_2, x_3$  and output is given as:

$$y = A(W^T x) = A(\sum_{i=1} W_i x_i + b), \quad (3)$$

where  $A$  is an activation function (can be sigmoid, logsig, purelin etc.),  $W$  is a weight matrix,  $b$  is a bias (scalar). Initially, weights ( $W$ ) are initialized randomly and then optimized by an iterative training procedure, based on relationship between input-output patterns.

One study presented a fault detection system that used ANN and a radial basis function (RBF) classifier. The system employed feature extraction from multiresolution analysis of vibration signals to automatically detect cracks in rotors. Multi-layer perceptron, a type of ANN with forward connections to units in subsequent layers, was used in another study [3]. A feature vector was developed from vibration signals by calculating the standard deviation of wavelet packet coefficients, which served as an input for ANN classifiers [6].

An ANN-based robust fault detection system was developed using the outer bounding ellipsoid algorithm to estimate model uncertainty [2]. A multilayer perceptron neural network was created with statistical features derived from wavelet transform as inputs to the network [7]. Online rotor bar detection was achieved using a method where feature representation served as an input vector to an ANN network [1]. Feature extraction based on wavelet packet decomposition (WPD) and empirical mode decomposition (EMD) was used as input for a backpropagation neural network for early fault detection in rotating machinery [6].

Sun et al. [8] proposed a fault diagnosis system that utilized decision trees and employed principal component analysis (PCA) to reduce features after feature extraction. The study demonstrated that the decision tree and PCA-based system achieved good accuracy and reduced training time compared to backpropagation neural network systems. The decision tree algorithm was employed for fault classification, and feature extraction was performed using wavelet transformations. In many cases, decision trees are used in conjunction with other classifiers to develop efficient fault detection systems. Standalone use of decision trees is less common in fault detection systems.

Deep learning methods have the ability to automatically learn features at multiple levels of abstraction within a network. This multi-level abstraction enables the direct learning of complex functions from raw data. Artificial neural networks (ANNs) are often used to develop deep neural networks that can overcome the limitations of shallow architectures. Deep neural networks (DNNs) process raw data with minimal preprocessing and are capable of handling complex non-linear functions. A diagnostic network based on deep belief networks (DBNs) has proven to be more reliable for fault classification compared to support vector machines (SVMs) and backpropagation neural networks (BPNNs). It also addresses the challenges posed by disturbances and noises [10]. A deep belief network specifically designed for bearing fault detection utilizes a combination of stochastic gradient descent, restricted Boltzmann machines, and particle swarm optimization.

Convolutional neural networks (CNNs), a type of deep neural network, have been increasingly employed for fault detection. A 1-D CNN with self-feature extraction and classification properties has been developed. CNNs enable feature extraction directly from raw data, facilitating fault detection in motor bearings. CNNs have also been utilized for bearing fault detection without explicit feature extraction, achieved by converting 1-dimensional vibration signals into 2-dimensional vibration images. Deep learning is a relatively new approach, and fault detection systems based on it have been developed recently. The deep architectures of deep learning offer significant potential for the development of improved and reliable fault diagnostic systems.

Machine learning-based fault detection systems offer increased reliability and adaptability and are widely used in the field. Choosing the appropriate algorithm based on the data is crucial. Table provides an overview of the pros and cons of different algorithms.

The future of AI, particularly in the realm of deep learning, holds immense potential and requires further attention. Some possibilities for future development include:

Developing hybrid deep learning-based fault detection systems that leverage high computational power to enhance diagnostic performance and ensure fail-safe operation. Expanding the capabilities of deep learning to develop complete diagnostic systems that eliminate the need for separate feature selection, extraction, and data collection processes. Creating smart-hybrid fault detection systems for real-time applications based on deep learning.

An overview of the pros and cons of different algorithms [10]

Algorithms	Advantages	Disadvantages
SVM	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. High Accuracy</li> <li>2. Handles outliers better</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sluggish for large data</li> <li>2. No physical meaning</li> </ol>
$k$ -NN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Easy implementation</li> <li>2. Robust to noise</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Slow in real time</li> <li>2. Sensitivity to Outlier</li> </ol>
ANN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Parallel processing capability</li> <li>2. High accuracy</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hardware</li> <li>2. Overfitting</li> </ol>
Decision trees and random forest	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Easy to understand and interpret</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Overfitting</li> <li>2. Longer Training Period</li> </ol>
Deep learning	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Robustness to variations in data</li> <li>2. Self-feature extraction</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Large data requirement</li> <li>2. Large time for training</li> </ol>

This paper provides a comprehensive study of machine learning-based algorithms for fault detection. The insights from this review are valuable for the development of an effective fault monitoring system for induction motors. Machine learning has significantly enhanced the reliability and efficiency of fault detection. The paper thoroughly discusses machine learning algorithms such as Artificial Neural Networks (ANN),  $k$ -Nearest Neighbors ( $k$ -NN), Support Vector Machines (SVM), decision trees, and deep learning. The importance of machine learning algorithms for fault detection is emphasized in this paper. Additionally, the review covers the latest deep learning algorithms such as Convolutional Neural Networks (CNN) and Deep Belief Networks (DBN) for fault detection. The application of deep learning offers the advantage of self-feature extraction and selection, reducing the risk of human error in these processes. The paper also proposes future prospects for the development of an effective system. The potential of AI is vast, and it requires further attention to create a comprehensive and self-learning package for unified fault prognosis and diagnosis.

## Bibliography

1. Benbouzid M.E.H. A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection // *IEEE Trans Ind Electron.* – 2000. – Vol. 47, no. 5. – P. 984–993.
2. On-line fault detection method for induction machines based on signal convolution / J. Cusido, L. Romeral, A.G. Espinosa, J.A. Ortega, J.R. Riba Ruiz // *Eur Trans Electr Power.* – 2011. – № 21 (1). – P. 475–488.
3. Jardine A.K., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance // *Mech Syst Signal Process.* – 2006. – № 20 (7). – P. 1483–1510.
4. Chandrashekar G, Sahin F. A survey on feature selection methods // *Comput Electr Eng.* – 2014. – № 40 (1). – P. 16–28.
5. The use of features selection and nearest neighbors' rule for faults diagnostic in induction motors // *Eng Appl Artif Intell.* – 2006. – № 19 (2). – P. 169–177.
6. Fault diagnosis system of induction motors based on neural network and genetic algorithm using stator current signals / T. Han, B.S. Yang, W.H. Choi, J.S. Kim // *Int J. Rotat Mach.* – 2006. DOI: 10.1155/IJRM/2006/61690
7. Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery: a review / R. Liu, B. Yang, E. Zio, X. Chen // *Mech Syst Signal Process.* – 2018. – № 108. – P. 33–47.
8. Early fault diagnosis of rolling bearings based on hierarchical symbol dynamic entropy and binary tree support vector machine / Y. Li, Y. Yang, X. Wang, B. Liu, X. Liang // *J Sound Vib.* – 2018. – № 428. – P. 72–86.
9. Convolutional neural network-based fault detection for rotating machinery / O. Janssens, V. Slavkovicj, B. Vervisch, K. Stockman, M. Loccufer, S. Verstockt, R. Van de Walle, S. Van Hoecke // *J. Sound Vib.* – 2016. – № 377. – P. 331–345.
10. Prashant Kumar, Ananda Shankar Hati. Review on Machine Learning Algorithm Based Fault Detection in Induction Motors // *Archives of Computational Methods in Engineering.* – 2021. – № 28. – P. 1929–1940. DOI: 10.1007/s11831-020-09446-w

## About the authors

**Sarvarbek Kamiljon ugli Ruzimov** – PhD student, School of Electrical Engineering, Southeast University, China, Nanjing, e-mail: s.k.ruzimov@gmail.com

**Jianzhong Zhang** – Professor, Doctor of Science, School of Electrical Engineering, Southeast University, China, Nanjing, e-mail: 233217103@seu.edu.cn

**Р.А. Мышко, Н.И. Куракина, Р.А. Бурдин**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

## **ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА В ГОРОДАХ**

Работа посвящена созданию пространственной модели дорожно-транспортной сети с использованием геоинформационных технологий. Предлагается использовать структуру деления дорожной сети на перегоны. Для каждого дорожного перегона определяется кортеж параметров, позволяющий выделить основные факторы, влияющие на загрязнение атмосферного воздуха. Разработана унифицированная структура данных, описывающая каждый перегон.

**Ключевые слова:** цифровая модель, геоинформационная система, загрязнение воздуха, автомобильный транспорт, экологическая безопасность.

**R.A. Myshko, N.I. Kurakina, R.A. Burdin**

St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI"  
named after V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg

## **ROAD TRANSPORT NETWORK DIGITAL MODEL FOR ASSESSING IMPACT ON URBAN AIR POLLUTION**

The work is devoted to the creation of a road transport network spatial model using geoinformation technologies. It is proposed to use road network structure dividing into sections. For each road section, a tuple of parameters identifying the main atmospheric air pollution influencing factors is determined. A unified data structure describing each section has been developed.

**Keywords:** digital model, geographic information system, air pollution; road transport, environmental safety.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха в городах России является актуальной в связи с серьёзным влиянием на самого человека и на качество его жизни. Задача оценки распространения загрязнений от объектов транспортной инфраструктуры требует создания принципиально новых подходов к моделированию, что позволило бы автоматизировать процесс анализа загрязнения атмосферного воздуха в условиях

городской среды. Применение геоинформационных систем (ГИС) позволит более эффективно решать задачи моделирования рассеяния загрязняющих веществ, производимых автотранспортом.

Целью работы является разработка геоинформационной модели дорожной сети с параметрами дорожных перегонов для г. Санкт-Петербург, а также формирование унифицированной структуры исходных данных для моделирования рассеяния загрязняющих веществ, производимых автотранспортом в соответствии нормативной методикой.

**Кортеж параметров дорожных перегонов.** Рассматриваемый объект, являющийся источником воздействия, – автомобильная дорога. Чтобы однозначно охарактеризовать влияние дорожно-автомобильного комплекса на состояние атмосферного воздуха, необходимо определить перечень влияющих факторов. В работе предлагается использовать структуру деления дорожной сети на перегоны. Деление на перегоны позволяет избежать необходимости применения сложного математического аппарата и получить данные для применения полуэмпирических методик моделирования рассеяния с целью определения максимально возможных уровней загрязнения в городах. Основные факторы, потенциально влияющие на эмиссию загрязняющих веществ, подразделяются на 3 группы: конструктивные особенности дороги; характеристики трафика; характеристики окружающей среды.

Кортеж параметров дорожной сети (1), необходимый для расчёта эмиссии загрязняющих веществ включает следующие параметры [1]:

$$R_i = \left\{ K, L, H, V, N, W_{\Pi}, W_o, W_p, C, Z, G_1^A \dots G_k^A, \right. \\ \left. G_1^B \dots G_k^B, S_1^A \dots S_k^A, S_1^B \dots S_k^B, P_{\Pi}, N_{\Pi} \right\}, \quad (1)$$

где  $K$  – категория дороги, определяемая в соответствии с [2];  $L$  – протяжённость дороги, км;  $H$  – высота поднятия дороги над поверхностью земли, м;  $V$  – средняя скорость движения, км/ч;  $N$  – число полос движения;  $W_{\Pi}$  – ширина полосы, м;  $W_o$  – ширина обочины, м;  $W_p$  – ширина разделительной полосы, м;  $C$  – тип покрытия;  $Z$  – наличие защитного экрана на участке дороги;  $G$  – соответственно пиковые интенсивности движения за временной интервал 20 мин;  $A$  – в прямом,  $B$  – в обратном направлении;  $S$  – соответственно числа остановок транспортных средств за временной интервал 20 мин в прямом и обратном направлениях для различных типов транспортных средств;  $1 \dots k$  – типы транс-

портных средств;  $P_{ц}$  – длительность действия запрещающего сигнала за период 20 мин;  $N_{ц}$  – количество циклов действия запрещающего сигнала за период 20 мин.

Важной задачей, которая возникает в процессе моделирования распространения концентрации загрязняющих веществ, является создание пространственной модели дорожно-транспортной сети, содержащей все необходимые данные в соответствии с представленным кортежем параметров.

**Характеристики потока автотранспорта.** При моделировании загрязнения атмосферного воздуха в масштабах города рассматривать в качестве источника выбросов отдельные автомобили не представляется возможным, поэтому в качестве источника рассматривается поток автотранспорта. Поток автотранспорта – совокупность транспортных средств, совершающих движение по городским автомобильным дорогам и автомагистралям.

В соответствии с уровнем воздействия на загрязнение воздуха выделяют следующие типы транспортных средств: I – легковые; II – автофургоны и микроавтобусы до 3,5 т; III – грузовые от 3,5 до 12 т; IV – грузовые свыше 12 т; V – автобусы свыше 3,5 т.

Структура потока для данных дорожных условий может быть задана в виде:

$$G_i = \{G_I, G_{II}, G_{III}, G_{IV}, G_V\}, \quad (2)$$

где  $G_I \dots G_V$  – величины интенсивности движения автомобилей каждого типа (авт./ч). Нормативные документы также допускают с целью унификации указывать интенсивность движения, приведённую к легковому автомобилю, коэффициенты приведения указаны в [2, 3].

**Характеристики интенсивности движения.** Наиболее значимой характеристикой трафика при расчёте выбросов загрязняющих веществ является интенсивность движения, определяемая как количество транспортных средств, проходящих в единицу времени через поперечное сечение дороги. Выделяют часовую, среднегодовую суточную, среднемесячную суточную и пиковую интенсивность движения [3]. Для расчета разовых концентраций больший интерес представляет пиковая интенсивность за временной интервал 20 мин – максимальная интенсивность дорожного движения, которая наблюдается на дороге в определенное время суток, обычно в часы пик. Объектом исследования выбран Василеостровский



район г. Санкт-Петербурга. Данный район выбран потому, что его структура соответствует большей части г. Санкт-Петербург. В районе преобладают жилые зоны, степень воздействия автотранспортного загрязнения на которые превышает все другие источники загрязнения, также имеется значительное количество регулируемых перекрёстков, что является типичным для городской застройки.

Учитывая, что большую часть района занимают жилые зоны, наиболее значимыми с точки зрения загрязнения воздуха являются утренняя и вечерняя пиковая интенсивность (авт./20 мин) по будним дням  $G_y$  и  $G_b$  соответственно. Структура потока задана в виде перечня интенсивностей движения для каждого типа транспорта. Также исходными данными является средняя скорость движения, определяемая типом дороги. Таким образом, кортеж параметров трафика принимает следующий вид:

$$T_i = \{G_{yI}, G_{yII}, G_{yIII}, G_{yIV}, G_{yV}, G_{bI}, G_{bII}, G_{bIII}, G_{bIV}, G_{bV}\}, \quad (3)$$

где  $G_{yI} \dots G_{yV}$  – величины интенсивности движения в утренний час пик для каждого типа транспорта,  $G_{bI} \dots G_{bV}$  – величины интенсивности движения в вечерний час пик для каждого типа транспорта.

**Критерии деления дороги на перегоны.** Критерии деления дорожной сети на перегоны определяются значительными изменениями интенсивности движения или скорости транспортных средств. В частности, разделение дорог на перегоны происходит на местах, таких как перекрестки, мосты и туннели. Границами перегонов также служат переходы между различными режимами движения, например, между скоростными магистралями и обычными дорогами.

При расчете удельных выбросов загрязняющих веществ на перекрестках автомобильных дорог учитывается, что водители, находясь на перекрестке, могут провести определенное время в ожидании при работе двигателя на холостом ходу. Такой режим работы двигателя характеризуется отличными характеристиками выброса загрязняющих веществ, что требует дополнительного учёта [4].

Таким образом, факторы, влияющие деление дорожной сети на перегоны, можно разделить на следующие группы:

1. Изменения геометрии дорожной сети (к данной категории относятся регулируемые и нерегулируемые перекрёстки, примыкания дорог, локальные участки изменения геометрии дорожного полотна –

расширения, сужения, соединения и разветвления). Данные объекты являются естественными границами дорожных перегонов.

2. Локальные объекты транспортной инфраструктуры – это локальные объекты, вызывающие неоднородность транспортного потока (периодические остановки или изменение скорости движения), но не требующие разбиения участка дороги на перегоны. К данной категории относятся отдельно стоящие пешеходные переходы, железнодорожные переезды, участки ремонта дорог и т. п.

Участки изменения геометрии дорожной сети и объекты транспортной инфраструктуры объединены в группу объектов локальной неоднородности потока. Исходными данными, характеризующими объект локальной неоднородности потока, является число остановок транспорта каждого типа, продолжительность цикла остановки и количество остановок за период 20 мин (для регулируемых перекрёстков эти данные соответствуют характеристикам светофорного регулирования):

$$S_i = \{S_{yI}, S_{yII}, S_{yIII}, S_{yIV}, S_{yV}, S_{yVI}, S_{yVII}, S_{yVIII}, S_{yIX}, S_{yX}, N_{ц}, P_{ц}\}, \quad (4)$$

где  $S_{yI} \dots S_{yV}$  – число остановок транспортных средств в утренний час пик для каждого типа транспорта,  $S_{yVI} \dots S_{yX}$  – число остановок транспортных средств в вечерний час пик для каждого типа транспорта,  $N_{ц}$  – количество циклов остановок за 20 мин,  $P_{ц}$  – продолжительность цикла остановки, с.

3. Статические характеристики дорожного перегона. К данной категории относятся постоянные характеристики, имеющие отношение ко всему перегону: установленный скоростной режим, запрет движения грузовых транспортных средств, тип дорожного покрытия, наличие защитного экрана и т.п.

4. Динамические характеристики дорожного перегона. К данной категории относятся оперативные данные, характеризующие режим движения: например, если весь дорожный перегон занят автомобильной пробкой, требуется использовать алгоритм расчёта выбросов загрязняющих веществ для стоящих транспортных средств. Также, если дорога перекрыта для движения на текущий момент в связи с ремонтом или общественным мероприятием, учёт интенсивности не требуется.

**Реализация цифровой модели дорожно-транспортной сети геоинформационной системы.** В соответствии с разработанной структурой была создана цифровая модель участка дорожной сети Ва-

сильевского Острова (рис. 1). В качестве исходных данных использовался класс линейных пространственных объектов OpenStreetMap, представляющий собой дороги.



Рис. 1. Участок дорожной сети до разбиения на перегоны (а), после разбиения на перегоны (б)

Для каждого перегона занесены данные, характеризующие трафик, содержащие утреннюю и вечернюю пиковую интенсивность движения, рассчитанную для каждого типа транспорта ( $G_{yl...v}$ ,  $G_{bl...v}$ ), характеристики скоростного режима ( $V$ ), протяжённость перегона ( $L$ ). Фрагмент таблицы атрибутов класса перегонов представлен на рис. 2.

id	L	Gyl	Gyll	GyIII	GyIV	GyV	Gbl	GbII	GbIII	GbIV	GbV	V
0	61	16	6	0	0	0	16	9	0	0	0	40
1	84	30	1	0	0	0	28	4	0	0	0	40
2	161	29	9	0	0	4	22	6	0	0	4	30

Рис. 2. Таблица атрибутов класса перегонов.

Для каждого объекта локальной неоднородности транспортного потока занесены данные, характеризующие класс объекта (1 – регулируемый пешеходный переход, 2 – нерегулируемый пешеходный переход), количество остановок транспорта в утренний и вечерний час пик, а также характеристики светофорного регулирования для регулируемых перекрёстков. Полученные данные являются исходными для модуля расчёта массовых выбросов, являющегося составной частью геоинформационной системы моделирования эмиссии загрязняющих веществ, вносимыми потоками автотранспорта.

**Заключение.** Была разработана геоинформационная модель дорожной сети с параметрами дорожных перегонов для г. Санкт-Петербург, а также сформирована унифицированная структура исходных данных для моделирования рассеяния загрязняющих веществ, производимых автотранспортом в соответствии нормативной методикой. Создаваемая геоинформационная модель дорожной сети, а также методологическое и алгоритмическое обеспечение, позволят оценить воздействие трафика на эмиссию загрязняющих веществ, в том числе невыхлопного происхождения.

### **Библиографический список**

1. Myshko R. A., Kurakina N. I. Calculation of pollutants mass emissions producing by traffic flows // 2023 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (2023 EIConRus).

2. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. Введен от 22 ноября 2005 г. N 296-ст. – М., 2005.

3. ГОСТ 32965-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока. Введен 31 августа 2016 г. N 997-ст. – М., 2014.

4. ГОСТ Р 56162-2019. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории. Введен 01.01.2020. – М., 2019.

### **Сведения об авторах**

**Мышко Роман Андреевич** – аспирант кафедры «Информационно-измерительные системы и технологии» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, e-mail: romanmyshko@gmail.com

**Куракина Наталия Игоревна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационно-измерительные системы и технологии», директор УНЦ «ГИС технологии» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, e-mail: NKurakina@gmail.com

**Бурдин Родион Александрович** – студент кафедры «Информационно-измерительные системы и технологии» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, e-mail: rodiogch@gmail.com

**Р.М. Синецкий, С.Н. Каличенко**

Южно-Российский государственный политехнический  
университет им. М.И. Платова, Новочеркасск

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРТЫ ГЛУБИНЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ОТ ПРЕДМЕТА ДО ОБЪЕКТА**

Рассматривается использование карты глубины для точного измерения расстояний от объекта до предмета в различных сферах, таких как автомобильная промышленность, робототехника и виртуальная реальность. Особое внимание уделяется выбору наиболее эффективного метода создания карты глубины и его практическому применению при определении положения дорожных знаков на улицах. Полученные результаты могут значительно упростить процесс создания различных объектов с использованием компьютерного зрения и улучшить работу с уличной дорожной инфраструктурой.

**Ключевые слова:** карта глубины, измерение расстояний, методы создания карты глубины, дорожные знаки, компьютерное зрение, уличная дорожная инфраструктура.

**R.M. Sinetsky, S.N. Kalichenok**

South Russian State Polytechnic University  
named after M.I. Platova, Novocherkassk

## **USAGE OF DEPTH MAPS FOR DETERMINING THE DISTANCE FROM AN OBJECT TO AN ITEM**

This study considers the use of depth maps for accurate distance measurement from an object to an item in various fields, such as automotive industry, robotics, and virtual reality. Special attention is given to the selection of the most effective method for creating depth maps and its practical application in determining the position of road signs on streets. The obtained results can greatly simplify the process of creating different objects using computer vision and improve work with street road infrastructure.

**Keywords:** depth map, distance measurement, methods of depth map creation, road signs, computer vision, street road infrastructure.

Сегодня существует увеличивающаяся потребность в точных измерениях расстояний между объектами в различных отраслях промышленности. Это особенно важно в автомобильной промышленно-

сти, робототехнике и разработке виртуальной реальности. В данной статье мы рассмотрим использование карты глубины для точного измерения расстояний между объектами.

Карта глубины является важным инструментом в области компьютерного зрения, который позволяет определить расстояние между объектом и наблюдателем. Ее использование имеет большое значение в различных областях, где требуется точное измерение расстояний. Например, в автомобильной промышленности карта глубины используется для определения точного положения других автомобилей, препятствий и дорожных знаков, чтобы предотвратить аварии и обеспечить безопасное движение. В робототехнике карта глубины помогает роботам взаимодействовать с окружающей средой и избегать препятствий на своем пути. В области виртуальной реальности использование карты глубины позволяет создавать трехмерные симуляции с высоким уровнем реализма.

Определение местоположения дорожных знаков является важной задачей, которая решается с использованием методов распознавания изображений и стереозрения. С использованием специальных алгоритмов обработки изображений, основанных на карте глубины, можно точно определить положение дорожных знаков на дороге. Это позволяет автоматизировать процесс обнаружения дорожных знаков и улучшить дорожную навигацию. Когда дорожный знак обнаружен, его координаты на карте глубины позволяют точно определить его местоположение, что упрощает дальнейшие действия системы автомобиля, такие как уведомление водителя о скоростном режиме или предупреждение об опасностях.

Полная автоматизация подобных задач требует автоматического создания цифровой модели и применения компьютерного зрения для определения типа дорожного покрытия, числа полос и разметки на дороге. Однако разработка полностью автоматизированной системы представляет собой сложную задачу, которая до сих пор не решена полностью. В рамках данной работы мы сосредоточимся на подзадаче определения расстояния до дорожных знаков с использованием карты глубины.

**Постановка задачи.** Цель нашей работы заключается в разработке автоматизированной системы определения местоположения дорожных знаков на цифровой модели уличной дорожной сети (УДС). Путем использования систем глобального географического позиционирова-

ния (ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beidou) в автомобиле, можно точно определить его местоположение в географических координатах. Применение видеокамер в данной системе позволяет обнаруживать дорожные знаки, определять их положение и автоматически интегрировать их в цифровую модель УДС.

Для эффективного измерения расстояний предлагается использовать компьютерное стереозрение с помощью пары камер, как показано на рис. 1.

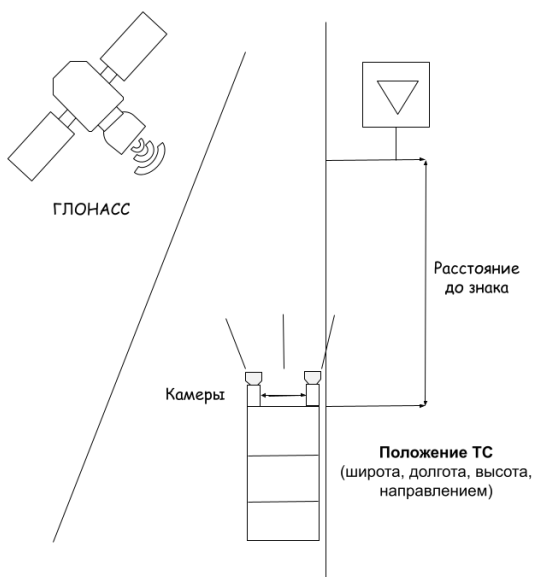


Рис. 1. Схема для определения расстояния

С помощью анализа изображений можно обнаружить и распознать дорожные знаки, используя одну из камер, например, правую. Для определения расстояния до знака можно применить алгоритмы стереозрения.

В данной работе мы исследуем несколько задач, которые необходимо решить для успешной реализации этого подхода:

– калибровка стереопары (двух видеокамер) для исправления оптических искажений, вызванных особенностями каждой камеры, и определения геометрических и оптических параметров стереопары,

таких как базовое расстояние между камерами и фокусное расстояние каждой камеры:

- выбор подходящего метода для создания карты глубины.
- разработка алгоритма формирования карты глубины.

**Аппаратное обеспечение.** В данном исследовании для съемки была использована пара веб-камер Logitech Brio 4k. Эти камеры имеют разрешение  $3840 \times 2160$  пикселей, частоту съемки 60 кадров в секунду и были установлены в стереопару с расстоянием в 50 см между центрами объективов.

**Калибровка камеры.** Калибровка камеры заключается в определении внутренних и внешних параметров камеры с использованием доступных фотографий или видеозаписей. Для этой цели часто применяются различные методы, такие как использование калибровочных изображений со шахматными досками, сетками точек, окружностей и другими элементами. В данной исследовательской работе был применен алгоритм калибровки, реализованный в библиотеке OpenCV [1].

**Карта глубины.** Стереозрение основывается на измерении смещения пикселей на ректифицированной стереопаре путем применения метода ректификации. Ректификация представляет собой процесс преобразования двух или более изображений таким образом, чтобы они находились в одной плоскости. В результате этого процесса эпиполярные линии (обозначенные как  $xLeL$  и  $xReR$  на рис. 2) становятся горизонтальными, что значительно облегчает задачу сопоставления точек.

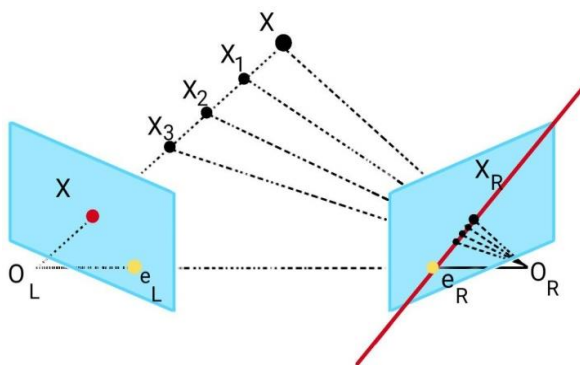


Рис. 2. Эпиполярная геометрия



После нахождения точек правого и левого изображений, мы сможем получить отклонения каждого пикселя. Диспаратет связан с глубиной следующим отношением, как представлено в формуле (1):

$$\frac{T-d}{Z-f} = \frac{T}{Z}. \quad (1)$$

где  $T$  – расстояние между камерами (baseline),  $f$  – фокусное расстояние,  $d$  – диспаратет, а  $Z$  – глубина [2].

Для определение карты глубины был выбран алгоритм семиглобального соответствия (SGMA – Semi-global matching algorithm), который проходит через несколько этапов [3]:

1. Производится вычисление стоимости для каждого пикселя.
2. Попиксельные стоимости суммируются.
3. Вычисляется карта диспаратности.

В данной работе попиксельная стоимость вычислялась как [3]:

$$\text{Cost}(p, d) = \left| I_L(p_x, p_y) - I_R(p_x - d, p_y) \right|. \quad (2)$$

После того как вычислены попиксельные стоимости, необходимо совершить суммирование стоимостей. Стандартным подходом для глобальных алгоритмов является нахождение такой конфигурации, которая минимизирует некий функционал энергии вида:

$$E(f) = E_{data}(f) + \lambda E_{mootch}(f). \quad (3)$$

Суммирование стоимости в направлении  $r$  для заданного пикселя  $p$  и диспаратности  $d$  происходит рекурсивно, как представлено в формулах:

$$L_T(p, d) = C(p, d) + \min(L_r(p - r, d)). \quad (4)$$

$$L_r(p - r, d - 1) + P_1. \quad (5)$$

$$L_r(p - r, d + 1) + P_1. \quad (6)$$

$$\min_i (L_r(p - r, i) + P_2) - \min_k L_r(p - r, k). \quad (7)$$

После того как подсчитаны суммарные стоимости для каждого из направлений, вычисляется общая сумма всех стоимостей для каждого из пикселей, как представлено в формуле:

$$S(p, d) = \sum_r L_r(p, d). \quad (8)$$

Для каждого пикселя базового изображения  $p$  соответствующая ему диспаратность находится как минимум по всем диспаратностям в общем массиве стоимостей, как представлено в формуле:

$$f(p) = \min_d S(p, d). \quad (9)$$

В итоге получаем на выходе карту диспаратности, из которой путем простых вычислений можно получить карту расстояний (глубины) [4].

**Результаты.** Была проверена практическая применимость предложенного метода для определения расстояния до дорожных знаков. На рис. 3 приведен пример полученных данных в процессе эксперимента. В верхней части изображения показаны снимки, полученные с помощью левой и правой камер. В левом нижнем углу представлено изображение карты диспаратности, где яркость соответствует значениям диспаратности точек (чем светлее, тем выше значение диспаратности). В правом нижнем углу показано изображение карты глубины, где яркость связана с приближением объектов (чем светлее, тем ближе они находятся).

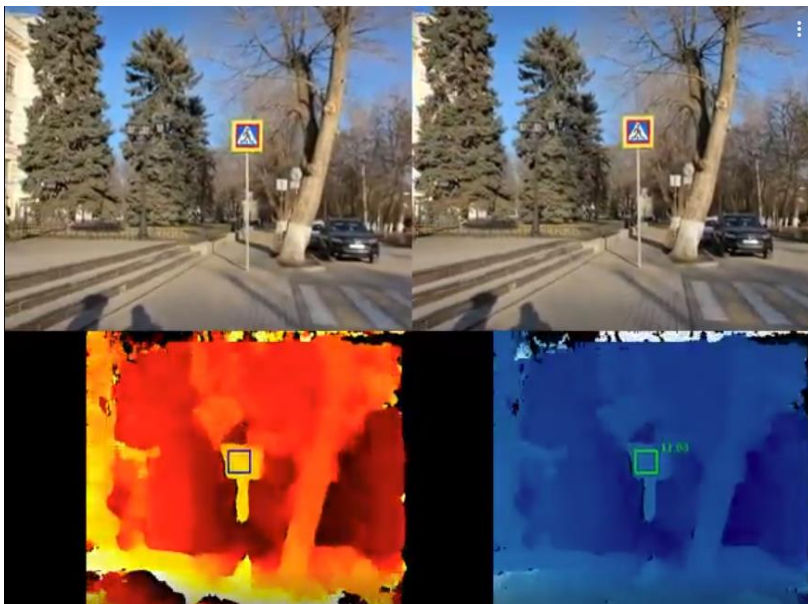


Рис. 3. Полученные результаты

Полученное расстояние сравнивалось с действительным расстоянием от стереопары до знака, найденное с использованием измерительной ленты.

Для определения погрешности  $\delta$ , %, была использована формула:

$$\delta = \frac{|X_{\text{изм}} - X_{\text{действ}}|}{X_{\text{действ}}} 100, \quad (10)$$

где  $X_{\text{изм}}$  является значением величины, полученным на основании измерений (11,63), а  $X_{\text{действ}}$  представляет собой значение величины, принятое за действительное (11,50). Вычисленная погрешность составила 1,1 %. Время, затраченное на обработку данных, составило 6,47 мин.

**Заключение.** Было выяснено, что карта глубины является полезным инструментом в компьютерном зрении для точного измерения расстояний между объектами в автомобильной промышленности, робототехнике и виртуальной реальности. Она позволяет определить расстояние между объектом и наблюдателем, улучшая дорожную навигацию и безопасность.

Для дальнейшего развития этой области требуется автоматизация с использованием более сложных методов компьютерного зрения. Полученные результаты могут быть применены в деятельности Южно-Российского государственного политехнического университета (Новочеркасского политехнического института) имени М.И. Платова, особенно на кафедре «Международные логистические системы и комплексы», для решения задач в области логистики.

### Библиографический список

1. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library / Bradski, Gary, Kaehler, Adrian. – O'Reilly, 2008. – P. 571.
2. Hartley R.I., Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision. Second edition. – Cambridge University Press, 2004.
3. Hirschmuller H. Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Feb. 2008. – Vol. 30, no. 2. – P. 328–341. DOI: 10.1109/TPAMI.2007.1166

4. Wang Y.-C., Tung C.-P., Chung P.-C. Efficient disparity estimation using hierarchical bilateral disparity structure based graph cut algorithm with a foreground boundary refinement mechanism // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2013. – Vol. 23, no. 5. – P. 784–801.

#### **Сведения об авторах**

**Синецкий Роман Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники» Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, e-mail: rmsin@srspu.ru

**Каличенко Сергей Николаевич** – студент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники» Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова, гр. 090304-РПИа-о21, г. Новочеркасск, e-mail: serzh.kalichenok@mail.ru

**Г.А. Килин, А.В. Шадрин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СИНТЕЗА СУРРОГАТНЫХ МОДЕЛЕЙ**

Подробно излагается тема математического аспекта создания искусственных нейронных сетей. Основное внимание уделяется разбору ключевых методов, используемых для выбора архитектуры и гиперпараметров этих сетей, что является критически важным для достижения высокой эффективности в процессе их обучения. Авторы статьи проводят всесторонний обзор научных публикаций, посвященных использованию искусственных нейронных сетей в различных сферах науки и техники, и представляют разработанную методику определения ее структуры и гиперпараметров. В статье делается акцент на значимости интегрированного подхода к проектированию искусственных нейронных сетей, что имеет особую важность для успешного решения задач, связанных с созданием суррогатных моделей.

**Ключевые слова:** обучение, архитектура, искусственная нейронная сеть, гиперпараметры, структура, обучение, суррогатная модель, синтез.

**G.A. Kilin, A.V. Shadrin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **MATHEMATICAL FORMULATION OF THE FORMATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK SYNTHESIS OF SURROGATE MODELS**

This article elaborates in detail on the mathematical aspect of creating artificial neural networks. The main focus is on analyzing key methods used for selecting the architecture and hyperparameters of these networks, which is critically important for achieving high efficiency in their training process. The authors conduct a comprehensive review of scientific publications dedicated to the use of artificial neural networks in different fields of technology and science, and present a developed methodology for determining their structure and hyperparameters. The article emphasizes the importance of an integrated approach to the design of artificial neural networks, which is particularly crucial for successfully solving tasks related to the creation of surrogate models.

**Keywords:** training, architecture, artificial neural network, hyperparameters, structure, training, surrogate model, synthesis.

Нейронные сети – это самая известная и используемая на данный момент форма искусственного интеллекта, которая с каждым днём начинает всё шире использоваться не только в работе учёных [1–4], но и в повседневной жизни. Они помогают, облегчают работу и с каждым днём развиваются путём обучения [5, 6], а также могут быть использованы для синтеза суррогатных моделей [7, 8], иными словами, суррогатная модель строится по имеющимся в наличии экспериментальным данным или по данным, полученным от сложной адекватной модели.

В последние годы искусственные нейронные сети (ИНС) стали одним из самых популярных инструментов в области искусственного интеллекта и машинного обучения. Их применение охватывает множество различных областей, включая компьютерное зрение [1], распознавание речи, медицинскую диагностику [2], финансовую аналитику, промышленность, повседневную жизнь и многое другое. Также важным направлением развития нейронных сетей является создание более эффективных и точных моделей, а также разработка новых архитектур и методов обучения для оптимизации обучения как самих ИНС, так и для более простого их использования в будущем.

Процедура обучения ИНС является крайне сложной и итеративной процедурой. Большая длительность этого процесса требует тщательного подбора архитектуры и гиперпараметров ИНС. В литературе можно найти множество статей, посвященных определению структуры ИНС и выбору гиперпараметров. Подбор правильной структуры ИНС является важным этапом в разработке системы искусственного интеллекта. Рассмотрим разработанную методику выбора архитектуры и гиперпараметров ИНС для построения суррогатных моделей, эта методика получена за счет модификации и доработки ранее предложенной методики выбора архитектуры ИНС и опирается на ранее полученные результаты [9].

Согласно разработанной методике, первоочередной задачей является определение типа архитектуры [10] ИНС. На следующем шаге определяются параметры структуры и только после этого необходимо определить гиперпараметры:

- глубина обратных связей;
- алгоритм обучения;

- шаг обучения;
- алгоритм инициализации весов ИНС;
- функция активации.

Допустим, что у нас есть множество возможных типов архитектур искусственных нейронных сетей:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}. \quad (1)$$

Определено множество параметров структуры и гиперпараметров искусственной нейронной сети:

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}. \quad (2)$$

Для каждого из  $m$  регулируемых параметров искусственной нейронной сети, входящих в множество  $R$ , имеется ряд возможных вариантов настройки данного параметра:

$$I_m = \{i_1, i_2, \dots, i_s\}. \quad (3)$$

Множество качеств ИНС взяты:

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}. \quad (4)$$

Введены ограничения для настраиваемых параметров искусственных нейронных сетей:

$$G = \{g_1, g_2, \dots, g_l\}. \quad (5)$$

Требуется провести ряд экспериментов:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_p\}. \quad (6)$$

В начальной фазе для заданного типа архитектуры искусственной нейронной сети (ИНС) из набора  $A$  осуществляется проверка всех возможных настроек для каждого настраиваемого параметра ИНС (из множества  $R$ ) на соответствие критериям множества  $G$  на основе данных множества  $U$ . В ходе каждого эксперимента фиксируются значения показателей качества из множества  $Q$ .

Если настройки параметров соответствуют критериям множества  $G$ , такой вариант параметров вместе с соответствующими показателями качества из множества  $Q$  рассматривается как потенциально приемлемый. В противном случае данный набор параметров отклоняется.

Далее формулируется задача выбора лучшей ИНС. Из всех найденных вариантов ИНС выбирается наилучший набор настраиваемых параметров, который представляется в виде вектора  $\mathbf{R}$ . Этот выбор основывается на достижении экстремального значения некоторой целевой функции

$$F(\mathbf{R}, Q, G, U) \rightarrow \text{extr}_{\mathbf{R} \in R} \quad (7)$$

для текущей архитектуры ИНС совместно со всеми ограничениями.

Размерность множеств (1)–(6) может варьироваться и определяется степенью детализации задачи по выбору оптимальных значений параметров искусственной нейронной сети (ИНС):

$$r_1, I_1, G_1, Q_1 \xrightarrow{Y_1} r_2, I_2, G_2, Q_2 \rightarrow \dots \xrightarrow{Y_2 \quad Y_{k-1}} r_k, I_k, G_k, Q_k \rightarrow \dots \xrightarrow{Y_k \quad Y_{n-1}} r_n, I_n, G_n, Q_n, \quad (8)$$

где на каждом  $i$ -м шаге необходимо учитывать набор ограничений и показателей качества.

На всех этапах процесса принятия решений лицо, ответственное за принятие решений (ЛПР), выбирает граничные условия из набора  $G_i$  и показатели качества из  $Q_i$ , после чего проводит оптимизацию. В рамках этого процесса, который описывается уравнением (8), ЛПР накапливает информацию в ходе обучения и адаптируется к решаемой задаче.

Учитывая, что поставленная задача обладает множественными критериями и включает в себя обширное многомерное пространство поиска, была разработана методика для получения не идеальной, а приемлемой искусственной нейронной сети. Это достигается за счет декомпозиции исходной задачи на серию последовательных подзадач с ограниченными пространствами поиска. В этом контексте каждая подзадача решается как задача оптимизации с одним или двумя критериями.

На первом этапе была выбрана рекуррентная ИНС из-за ее способности эффективно учитывать динамику благодаря наличию обратных связей. На втором этапе, с использованием априорной информации, была определена начальная архитектура рекуррентной ИНС. На третьем этапе был решен ряд оптимизационных задач с использованием экспериментальных данных. Рекомендуется следующий порядок настройки параметров ИНС [10–12]:

$$r_3 \rightarrow r_2 \rightarrow r_9 \rightarrow r_5 \rightarrow r_7.$$



Эта последовательность поиска была установлена на основе важности данных параметров для конечных показателей качества искусственной нейронной сети с точки зрения лица, принимающего решения. Для всех этапов был установлен собственный критерий для поиска. Например, для определения количества скрытых слоев в нейронной сети ( $r_3$ ) был следующий критерий:

$$J_3 = k_\sigma J_\sigma + k_t J_t \rightarrow \min_{I_3}, \quad (9)$$

$$J_\sigma = \frac{\sum_i^M e_i}{M}, \quad (10)$$

$$e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - d_i)^2}{N}}, \quad (11)$$

$$J_t = \sum_{i=0}^N \Delta t, \quad (12)$$

где  $J_\sigma$  – среднее значение среднеквадратичных ошибок, полученных в экспериментах с различными значениями исследуемого параметра структуры или гиперпараметра;  $M$  – представляет количество экспериментов;  $e$  – среднеквадратичную ошибку, рассчитанную по всем экспериментальным данным;  $N$  – объем выборки данных;  $y_i$  – текущее выходное значение;  $d_i$  – желаемое выходное значение; нормализующие коэффициенты для среднеквадратичной ошибки обозначаются как  $k_\sigma = 1/e_{\max}$ ;  $e_{\max}$  – представляет максимальное значение усредненной среднеквадратичной ошибки, полученное из экспериментов с различным количеством скрытых слоев;  $J_t$  – показывает время на обучение;  $\Delta t$  – время, которое занимает одна итерация обучения;  $k_t = 1/t_{\max}$  – коэффициенты, которые нормализуют время обучения;  $t_{\max}$  – максимальное значение времени обучения из экспериментов с разным количеством скрытых слоев ИНС. В ре-

зультате анализа по критерию (9) было установлено, что оптимальным выбором для искусственной нейронной сети является использование двух скрытых слоев.

Вторая задача поиска заключается в определении оптимального числа нейронов в выходном слое –  $r_2$ :

$$\begin{cases} J_2 = e \rightarrow \min_{I_2}, \\ e \leq e_{\max}, \end{cases} \quad (13)$$

где  $e = K_T = \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - d_i)^2 / (\sum_{i=1}^N y_i^2 + \sum_{i=1}^N d_i^2)}$  – оценка соответствия модели, основанная на критерии Тейла, представляет собой меру адекватности модели,  $e_{\max} = 0,1$ .

В этом контексте также важно учитывать дополнительную информацию, оцениваемую лицом, принимающим решения (ЛПР). В результате этого анализа было решено использовать 5 нейронов ( $I_3 = 5$ ). Аналогичным способом, с учетом опыта ЛПР, последовательно решаются и другие поисковые задачи.

Используя разработанную методику, была сформирована обоснованная архитектура базовой искусственной нейронной сети (ИНС), которая включает в себя:

1. По 34 нейрона в каждом из скрытых слоев.
2. Глубину обратных связей, равную шести.
3. В итоге было выбрано 2 скрытых слоя.
4. Четыре нейрона во входном слое.
5. Использование алгоритма обратного распространения ошибки.
6. Случайную инициализацию весов в диапазоне от 0 до 1, которые затем делятся на  $n$ , где  $n$  – количество входных сигналов каждого нейрона.
7. Шаг обучения, равный 0,1.
8. Сигмоидальную функцию активации для нейронов.
9. Пять нейронов в выходном слое.

Именно описанная выше структура ИНС (рисунок), возможно, с некоторыми минорными изменениями, использовалась для синтеза суррогатных моделей [13, 14].

На рисунке показаны следующие параметры: частота вращения турбокомпрессора –  $n_{тк}$ ; частота вращения турбины –  $n_{ст}$ ; ток СГ –  $I$ ;

расход топлива –  $G_T$ ; напряжение синхронного генератора (СГ) –  $U$ ; мощность синхронного генератора –  $N_G$ ; напряжение обмотки возбуждения –  $U_F$ ; активная мощность нагрузки сети –  $P$ ; реактивная мощность нагрузки сети –  $Q$ ; весовой коэффициент связи, где  $a$  – индекс таблицы весов,  $b$  – номер нейрона в слое откуда идет связь,  $c$  – номер нейрона в слое, куда приходит связь, –  $w^{abc}$ ; оператор задержки ( $i$  – число шагов задержки) –  $z^{-i}$ .

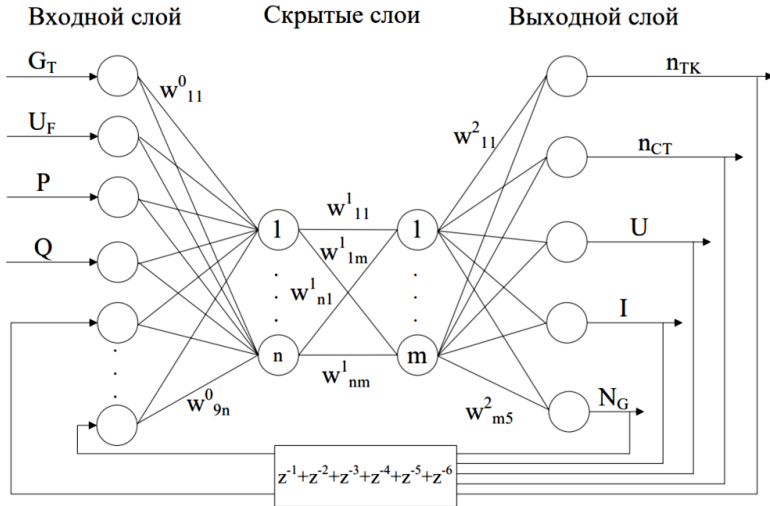


Рис. Базовая ИНС

**Закключение.** Процесс математического описания создания ИНС является сложной задачей, которая включает в себя учет широкого спектра различных факторов. Одними из ключевых элементов, определяющих эффективность и функциональность ИНС, являются количество скрытых слоев, число нейронов в каждом из этих слоев, тип используемой активационной функции, а также ряд других важных характеристик [10].

Искусственные нейронные сети имеют огромный потенциал для развития и применения в различных областях. С каждым годом они становятся все более популярными и широко используемыми благодаря своей способности к обучению и анализу больших объемов данных. Перспективы развития ИНС связаны с повышением их точности и эффективности, а также с расширением областей применения. Кроме

того, для дальнейшего развития ИНС необходимо разрабатывать новые методы обучения и оптимизации сетей, а также улучшать их архитектуру и структуру. В целом перспективы развития ИНС выглядят весьма оптимистично, и можно ожидать, что в ближайшие годы эти технологии будут играть все более важную роль в нашей жизни.

Разработанная методика, хотя и не предоставляет возможности для определения оптимальной архитектуры и гиперпараметров ИНС, тем не менее, позволяет создать так называемую базовую ИНС. Эта базовая модель уже адекватна для начального решения задач, связанных с синтезом суррогатных моделей. Однако следует подчеркнуть, что в дальнейшем, в зависимости от таких факторов, как объем и характер экспериментальных данных, структура и гиперпараметры базовой ИНС могут подвергаться изменениям и доработкам. Это позволяет адаптировать ИНС к конкретным условиям и требованиям задачи, улучшая тем самым ее эффективность и точность в решении поставленных перед ней задач.

***Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00381, <https://rscf.ru/project/23-29-00381/>.*

### **Библиографический список**

1. Максименко В.Н., Волошина Т.С. Анализ системы распознавания лиц по алгоритму нейронной сети // Экономика и качество систем связи. – 2018. – № 4 (10). – С. 31–37.

2. Дунай В.И., Штепа В.Н., Глинская Н.А. О некоторых аспектах использования нейронных сетей при решении задач биоинформатики. – 2022.

3. Лысцов Н.А., Мартышкин А.И. Нейронные сети: применение и перспективы // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 3-2. – С. 35–38.

4. Тюрина Д.А., Пальмов С.В. Применение нейронных сетей в обработке естественного языка // Журнал прикладных исследований. – 2023. – №. 7. – С. 158–162.

5. Васенков Д.В. Методы обучения искусственных нейронных сетей // Компьютерные инструменты в образовании. – 2007. – № 1. – С. 20–29.

6. Чепцов М.Н., Сони́на С.Д. Анализ методов оптимизация скорости обучения нейронной сети // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2022. – № 65. – С. 27–31.

7. Sobester A., Forrester A., Keane A. Engineering design via surrogate modelling: a practical guide. – John Wiley & Sons, 2008.
8. Comparison of different techniques for surrogate modeling of stability constraints for composite structures / S. Grihon [et al.] // Proceedings of 1st International Conference on Composite Dynamics, Archanon, France. – 2012.
9. Килин Г.А. Настройка параметров нейронной сети для получения математической модели газотурбинной электростанции // Наука сегодня: задачи и пути их решения. – 2016. – С. 25–26.
10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008.
11. Роберт К. Основные концепции нейронных сетей / пер. с англ. М.: Вильямс, 2001.
12. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления / Н.Д. Егупов [и др.]. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
13. Selection of pre-training parameters for synthesizing surrogate models of gas turbine units for gas turbine electro power stations / G. Kilin [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 411. – P. 01006.
14. KavaleroV B.V., Bakhirev I.V., Kilin G.A. Gas-Turbine Power-Plant Neural-Network Models for Synthesis and Tuning of Control Systems // Russian Electrical Engineering. – 2022. – Vol. 93, no. 11. – P. 712–717.

### Сведения об авторах

**Килин Григорий Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [thisisforasm@rambler.ru](mailto:thisisforasm@rambler.ru)

**Шадрин Андрей Владимирович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-21-16, г. Пермь, e-mail: [adamcasper1991@gmail.com](mailto:adamcasper1991@gmail.com)

**Г.А. Килин, И.А. Пашков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ИССЛЕДОВАНИЯ И СИНТЕЗА СУРРОГАТНЫХ МОДЕЛЕЙ**

Представлены новые достижения в области разработки программных средств для построения суррогатных моделей, использующих предобученные искусственные нейронные сети. Основное внимание уделено разработке и применению специализированной библиотеки нейронных сетей, которая позволяет интегрировать предобученные слои для повышения эффективности и гибкости моделей. Эта инновационная библиотека обеспечивает значительное улучшение качества суррогатных моделей, сокращая время, необходимое для их обучения и адаптации к конкретным задачам. В статье также обсуждаются методологические аспекты использования предобученных слоев, включая их влияние на процесс обучения и адаптации моделей. Авторы подчеркивают, что разработанные программные средства могут быть использованы для ускорения и упрощения процесса создания и внедрения суррогатных моделей, что открывает новые перспективы в области искусственного интеллекта и машинного обучения.

**Ключевые слова:** суррогатные модели, программные средства, искусственные нейронные сети, моделирование.

**G.A. Kilin, I.A. Pashkov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **DEVELOPMENT OF SOFTWARE TOOLS FOR RESEARCH AND SYNTHESIS OF SURROGATE MODELS**

This paper presents the latest advancements in the development of software tools for constructing surrogate models using pretrained artificial neural networks. The focus is on the development and application of a specialized neural network library that allows the integration of pretrained layers to enhance the efficiency and flexibility of models. This innovative library significantly improves the quality of surrogate models, reducing the time required for their training and adaptation to specific tasks.

The paper also discusses methodological aspects of using pretrained layers, including their impact on the training and adaptation process of models. The authors emphasize that the developed software tools can be used to accelerate and simplify

the process of creating and implementing surrogate models, opening new perspectives in the field of artificial intelligence and machine learning.

**Keywords:** surrogate models, software tools, artificial neural networks, modeling.

Разработка собственных программ решений для создания искусственных нейронных сетей (ИНС) и суррогатных моделей открывает перед исследователями новые возможности. В отличие от использования готовых программных решений это позволяет не только расширить функциональные возможности, но и вносить необходимые коррективы и дополнения в программный код. Такой подход обеспечивает ряд преимуществ: с одной стороны, исследователи получают уникальные результаты благодаря гибкости и адаптивности разрабатываемых программ, а с другой – процесс разработки программного обеспечения сам по себе эволюционирует в ходе научного поиска, что способствует достижению поставленных целей в исследовании.

В статье представлены результаты развития программных решений [1, 2] построения суррогатных моделей [3, 4] с использованием искусственных нейронных сетей [5]. Упор делается на реализацию нового функционала, связанного с возможностью предобучения [6], его аспектах и преимуществах [7]. Стоит отметить, что под суррогатной моделью подразумевается такая модель, которая строится по имеющимся в наличии экспериментальным данным или по данным, полученным от сложной адекватной модели.

**Назначение и возможности программных средств.** Программные средства [1, 2] используют самостоятельно разработанную библиотеку искусственных нейронных сетей, которая, благодаря полному контролю программного кода, позволяет гибко ее развивать для решения конкретных задач. Например, для удобства работы с предобученными слоями был реализован метод добавления предобученного слоя в сеть, программный код данной реализации представлен на рис. 1 и 2. Программный код реализован на языке программирования Java.

```
public void addPretrainedLayers(  
    Layer[] addedLayers,  
    int layerNumber) {  
    this.layers = Utils.addValueToArray(this.layers, layerNumber, addedLayers);  
    for (int i = 0; i < layers.length - 1; i++)  
        connectLinksFromPreviousLayers(layers[i], layers[i + 1]);  
}
```

Рис. 1. Реализация метода добавления предобученных слоев в нейронную сеть

```

Net netStandart = new Net();
netStandart
    .addLayer(
        new LinearLayer(
            EnumLocation.INNER,
            new Linear(),
            new DefaultRandomWeightsInitializer(),
            neuronsCount: 2))
    .addLayer(
        new LinearLayer(
            EnumLocation.OUTPUT,
            new HyperbolicTangent(),
            new DefaultRandomWeightsInitializer(),
            neuronsCount: 1));

netStandart.addPretrainedLayers(
    new Layer[] {
        net.getCopyLayers()[1], net.getCopyLayers()[2], net.getCopyLayers()[3]
    },
    layerNumber: 1);

```

Рис. 2. Реализация добавления предобученных слоев из ИНС «net» в ИНС «netStandart»

В отличие от результатов, полученных в статье [8], где все действия со скрытыми слоями (рис. 3) фактически необходимо было выполнять вручную, текущая реализация работает полностью в автоматическом режиме и позволяет гибко работать с предобученными слоями.

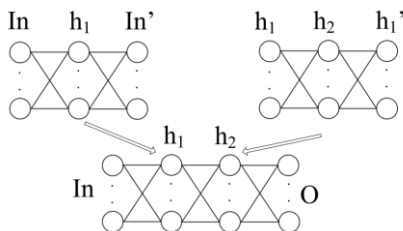


Рис. 3. Процедура синтеза нейронной сети с использованием предобученных слоев, где  $In$  – вход ИНС;  $h_1, h_2$  – первый и второй скрытый слой ИНС;  $O$  – выход ИНС

**Заключение.** Программные средства предназначены для усовершенствования процесса моделирования и анализа данных в области машинного обучения. Они в перспективе позволят за счет предложен-



ных решений значительно упростить и ускорить процесс разработки и внедрения суррогатных моделей, основанных на предобученных нейронных сетях. Это, в свою очередь, открывает новые возможности для исследователей и практиков в различных областях, где требуется быстрая и точная обработка больших объемов данных.

Таким образом, результаты исследования и разработки новых программных решений не только демонстрируют их текущую эффективность, но и обещают высокий потенциал для будущего роста и использования в разнообразных задачах машинного обучения и искусственного интеллекта.

***Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00381, <https://rscf.ru/project/23-29-00381/>.*

### **Библиографический список**

1. Св-во о гос. регистр. программы для ЭВМ № 2017614742 «Нейродин» / Г.А. Килин, Б.В. Кавалеров / Дата приоритета 09.12.2016. Дата регистрации 26.04.2017.

2. Св-во о гос. регистр. программы для ЭВМ № 2023613432 «ErgyDesc-NN» / Г.А. Килин, Б.В. Кавалеров, А.И. Суслов / Дата приоритета 02.02.2023. Дата регистрации 15.02.2023.

3. Viana F.A.C., Gogu C., Goel T. Surrogate modeling: tricks that endured the test of time and some recent developments // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2021. – P. 1–28.

4. Machine Learning-Based Surrogate Modeling for Urban Water Networks: Review and Future Research Directions / A. Garzón [et al.] // Water Resources Research. – 2022. – Vol. 58, no. 5. – P. e2021WR031808.

5. Haykin S. Neural Networks: A Complete Course ed 2 (Williams Publishing House). – 2006. 1104 p.

6. Why does unsupervised pre-training help deep learning? / D. Erhan [et al.] // Proceedings of the thirteenth international conference on artificial intelligence and statistics. – JMLR Workshop and Conference Proceedings, 2010. – P. 201–208.

7. Pre-training method in the tasks of obtaining surrogate models of gas turbine units for gas turbine electric power stations / G. Kilin [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 411. – P. 01007.

8. Тонкая настройка нейронной сети в задачах получения математической модели газотурбинной электростанции / Г.А. Килин [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 7. – С. 41–44.

#### **Сведения об авторах**

**Килин Григорий Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: thisisforasm@rambler.ru

**Пашков Иван Александрович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-21-1б, г. Пермь, e-mail: ivanpashkov1999@gmail.com

**С.И. Советов<sup>1</sup>, С.Ф. Тюрин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, Пермь

## **РАЗРАБОТКА ТОПОЛОГИИ ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ДЕШИФРАЦИЕЙ НАБОРА ПЕРЕМЕННЫХ**

Рассматривается разработка топологии и топологическое моделирование предлагаемого логического элемента LUT с расширенными функциональными возможностями. Новый элемент использует дополнительные транзисторы для выполнения дешифрации входных переменных одновременно с вычислением основной логической функции. Приводятся основные технические характеристики, полученные в процессе топологического моделирования логического элемента на три переменные с оценкой сложности и сравнением с известными решениями.

**Ключевые слова:** программируемые логические интегральные схемы, LUT, передающие транзисторы, логическая функция, дешифрация.

**S.I. Sovetov<sup>1</sup>, S.F. Tyurin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Perm State National Research University, Perm

## **LAYOUT DEVELOPMENT OF AN FPGA LOGICAL ELEMENT WITH DECORING A SET OF VARIABLES**

Layout design and topology modeling of the proposed LUT with advanced functionality is discussed. The new element uses additional transistors to perform decoding of the input variables simultaneously with the calculation of the main logical function. The main technical characteristics obtained in the process of topological modeling of a three-variable logic element with an assessment of complexity and comparison with known solutions are presented.

**Keywords:** FPGA, LUT, transmitting transistors, logic function.

Разрабатываемые базовые логические элементы программируемой логики позволяют повысить производительность чипов без увеличения площади кристалла. Один из подходов повышения функцио-

нальности связан с обратимостью вычислений, который реализуется через дешифрацию набора переменных [1, 2]. В результате значительно снижается энергопотребление компьютеров, а также улучшается достоверность вычислений. В ранних работах были предложены логические элементы, которые выполняют дешифрацию набора переменных и вычисление логической функции в отдельно настраиваемых режимах работы [3–5]. В этом случае необходим дополнительный сигнал переключения режимов и дополнительное время для вычислений основной функции. В настоящей работе предлагается новый подход к дешифрации набора переменных и вычисления логической функции, которые осуществляются одновременно. Приводится топологическое моделирование логического элемента трех переменных для подтверждения работоспособности предложенной схемы.

Реализация логического элемента осуществляется с введением дополнительных блоков переменных, обеспечивающих подключение уровня нуля в случае неактивирования соответствующей цепочки к инвертору выхода дешифрации. В этом случае используется модель многоуровневого дерева.

Таким образом, для одной переменной получаем:

$$\begin{aligned} \frac{(V_{cc})\bar{x}}{(Ground)x}(\vee\bullet)(NOT) &= z_0(x) \\ \frac{(V_{cc})x}{(Ground)x}(\vee\bullet)(NOT) &= z_1(x) \\ \frac{d_1(NOT)x}{d_0(NOT)x}(\vee\bullet)(NOT) &= z(d_0d_1x) \end{aligned} \quad (1)$$

В предлагаемом выражении (1) имеется три составляющих: часть, вычисляющая значение логической функции одной переменной:

$$\frac{d_1(NOT)x}{d_0(NOT)x}(\vee\bullet)(NOT) = z(d_0d_1x), \quad (2)$$

которая может быть использована как «базовый блок», называемый мультиплексором 2-1, при увеличении разрядности в следующем виде:

$$\frac{x}{x}(\vee\bullet). \quad (3)$$

Две другие независимые части выполняют одновременно с вычислением функции еще и дешифрацию переменной с обеспечением

ортогональности сигнала на входе инверторов (это означает, что всегда будет либо уровень логического нуля, либо уровень логической единицы, без обрыва цепи – это один из важнейших схемотехнических принципов):

$$\frac{(V_{cc})\bar{x}}{(Ground)x}(\vee\bullet)(NOT) = z_0(x) \quad (4)$$

$$\frac{(V_{cc})x}{(Ground)x}(\vee\bullet)(NOT) = z_1(x)$$

То есть, например, если  $x = 0$ , то активизируется следующий путь:

$$(V_{cc})\bar{x}(\vee\bullet)(NOT) = z_0(x) = 0 \cdot \quad (5)$$

Происходит отрицание константы «1» ( $V_{cc}$ ) уровня шины питания. В то же время по другой ветви

$$(Ground)\bar{x}(\vee\bullet)(NOT) = z_1(x) = 1 \cdot \quad (6)$$

Происходит отрицание константы «0», то есть шины «Ноль Вольт» ( $Ground$ ). Аналогично выполняется дешифрация при  $x = 1$ .

Использование (4) позволяет строить элементы для произвольного количества переменных с учетом ограничений по количеству последовательно соединенных передающих транзисторов (не более трех). То есть предлагается суперпозиция 1-LUT по выражению (1) для синтеза LUT, вычисляющих значение заданной логической функции и дешифрацию набора переменных одновременно. Схема 1-LUT по выражению (1) реализована следующим образом (рис. 1).

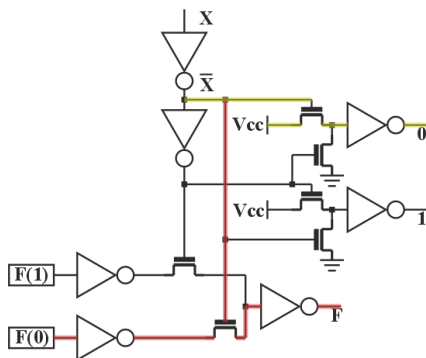


Рис. 1. 1-LUT с дешифрацией при обеспечении ортогональности сигналов по входам инверторов дешифрации

При построении 3-LUT с дешифрацией из шести 1-LUT константы подключены последовательным каскадом к «старшим» 1-LUT.

Разработанный 3-LUT с дешифрацией, построенный из предлагаемых 1-LUT, приведен на рис. 2.

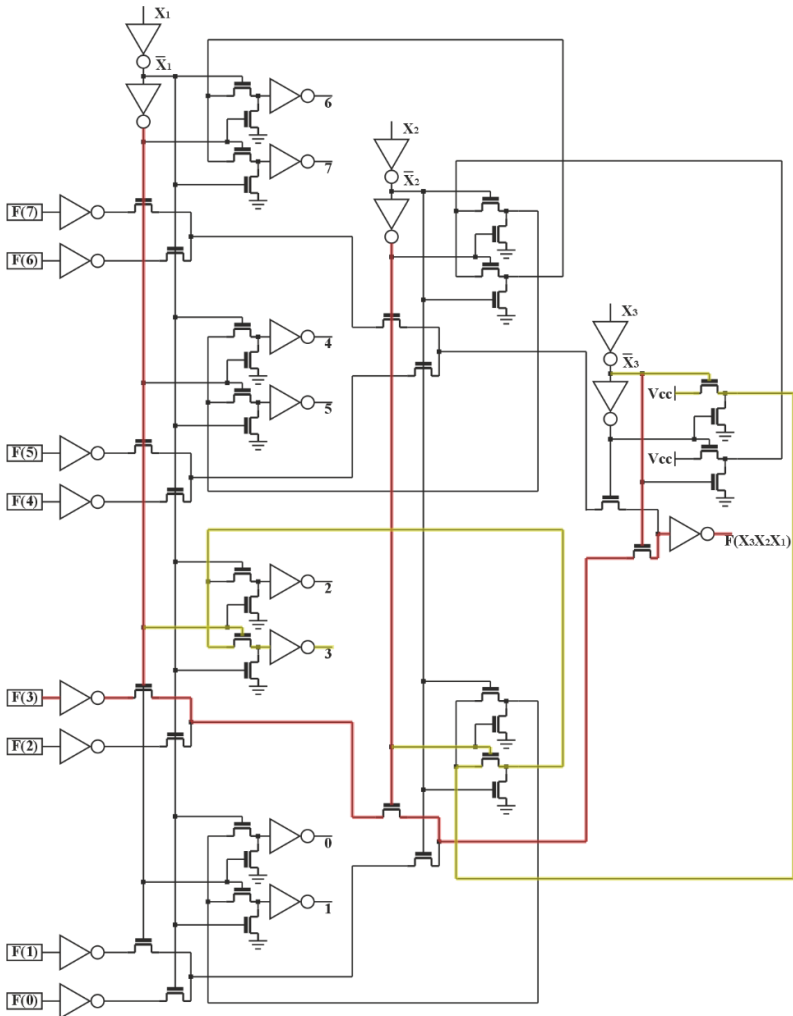


Рис. 2. 3-LUT с дешифрацией, вычисляющий значение заданной логической функции и дешифрацию набора переменных одновременно, построенный из предлагаемых 1-LUT

Схема электрическая функциональная предлагаемого логического элемента 3-LUT с дешифрацией входных переменных, изображенная на рис. 2, реализована в системе топологического моделирования Microwind [6–9] по технологии 32 нм. Общий вид топологии представлен на рис. 3.

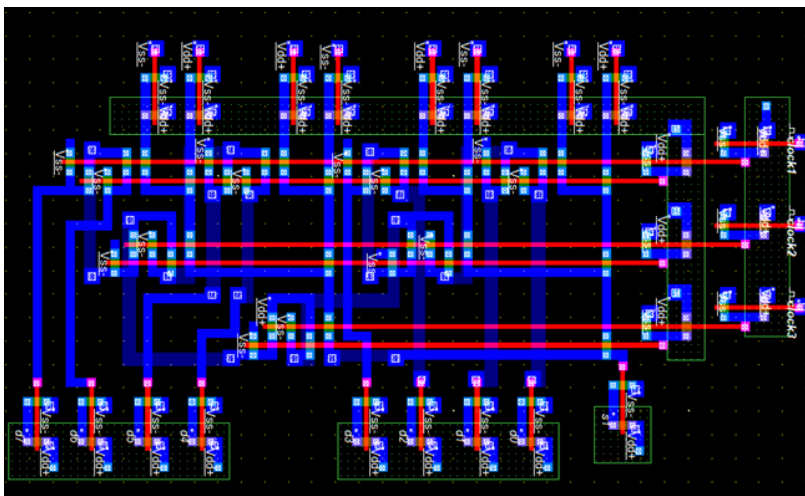


Рис. 3. Топология логического элемента 3-LUT с дешифрацией набора переменных и вычислением логической функции

Моделирование проводилось в течение 50 нс. Переменные задавались в виде кода Грея и представлены на осциллограмме (рис. 4. –  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ). Результаты дешифрации отображены в осциллограммах  $D_0$ – $D_7$  на рис. 4. Результат вычисления логической функции исключающего ИЛИ представлен в строке  $F_1$  с значениями задержки 282 пс (рис. 4).

Потребляемая мощность предлагаемого логического элемента составила 1,3 мВт. Площадь, занимаемая на кристалле, 25,5 мкм<sup>2</sup>.

Сложность предлагаемого логического элемента вычисляется следующим образом:

$$L_{new.dc}(n) = 10 \cdot 2^n + 4n + 2 \cdot 2^n + 2(2^{n+1} - 2), \quad (7)$$

где  $n$  – это количество переменных при реализации одной функции. Сравнение по сложности с известными решениями приведено на рис. 5.

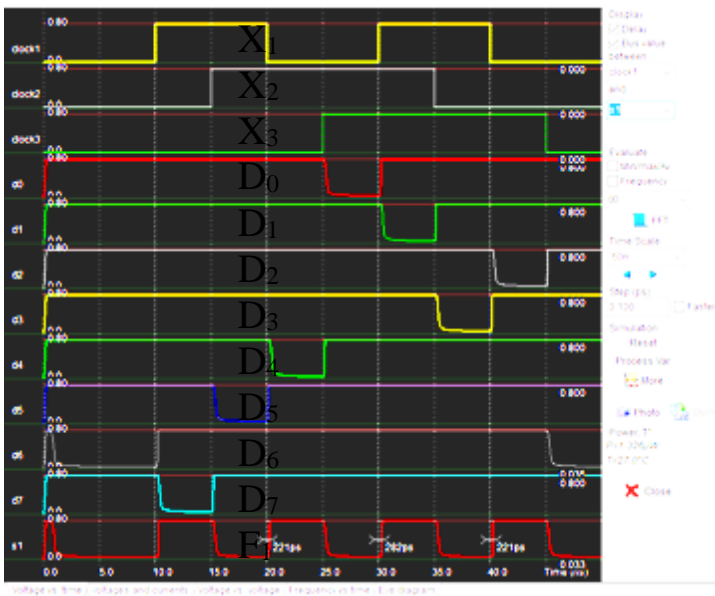


Рис. 4. Осциллограмма моделирования топологии предлагаемого логического элемента

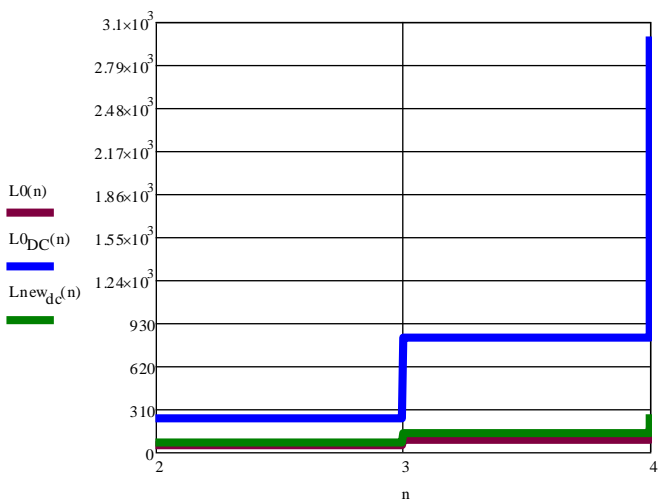


Рис. 5. Сравнение сложности New DC LUT ( $L_{\text{new.dc}}$ ) и ( $L0_{\text{dc}}$ ) для  $n = 4, 5, 6$



Топологическое моделирование логического элемента 3-LUT с дешифрацией входных переменных подтвердило работоспособность предлагаемого технического решения и позволило определить площадь кристалла, задержку и потребляемую мощность. Получен выигрыш по сложности по сравнению с известными решениями, который увеличивается с растущим количеством используемых переменных.

### Библиографический список

1. Строгонов А., Городков П. Современные тенденции развития ПЛИС: от системной интеграции к искусственному интеллекту // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2020. – № 4 (195). – С. 46–56.

2. Строгонов А., Цыбин С. Программируемая коммутация ПЛИС: взгляд изнутри // Компоненты и технологии. – 2010. – № 11. – URL: [http://www.kit-e.ru/articles/plis/2010\\_11\\_56.php](http://www.kit-e.ru/articles/plis/2010_11_56.php)

3. Tyurin S.F., Vikhorev R.V. A Decoder – Look up Tables for FPGAs // ИС. – Sep. 2021. – Vol. 20, no. 3. – P. 365–373. DOI: 10.47839/ijc.20.3.2282

4. Hidden fault analysis of FPGA projects for critical applications / O. Drozd, I. Perebeinos, O. Martynyuk, K. Zashcholkin, O. Ivanova, M. Drozd // 15th Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. – 2020. – P. 128–132. DOI: 10.1109/TCSET49122.2020.235591

5. Hidden faults in FPGA-built digital components of safety-related systems / O. Drozd, V. Nikul, V. Antoniuk, M. Drozd // 14th Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. – 2018. – P. 805–809. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336320

6. Microwind & Dsch Version 3.5. – URL: <https://www.yumpu.com/en/document/view/40386405/microwind-manual-lite-v35pdf-moodle>

7. Vikhorev R. Improved FPGA logic elements and their simulation // Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. – 2016. – P. 275–280. DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317080

8. Skornyakova A.Yu., Vikhorev R.V. Self-Timed LUT Layout Simulation // Conference of Russian Young Researchers in Electrical

and Electronic Engineering. – 2020. – P. 176–179. DOI: 10.1109/EIConRus49466.2020.9039374

9. Пат. 2637462 Российская Федерация. Программируемое логическое устройство / Тюрин С.Ф., Прохоров А.С.

### **Сведения об авторах**

**Советов Станислав Игоревич** – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: fizikoz@gmail.com

**Тюрин Сергей Феофентович** – заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; профессор кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

**Д.А. Горбачев**

Тольяттинский государственный университет, Тольятти

**ОСНОВЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ИТ-ОТРАСЛИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ  
И РАСПРОСТРАНЕНИЮ ОБЛАЧНЫХ  
ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ**

Освещается ключевая роль стратегического планирования в управлении современными предприятиями. Подчеркивается, что стратегическое планирование позволяет компаниям определять свои долгосрочные цели и разрабатывать эффективные подходы к их достижению. Особое внимание уделяется анализу преимуществ стратегического планирования, включая повышение конкурентоспособности, лучшее понимание рыночных тенденций и укрепление внутренней корпоративной культуры. В статье обсуждаются ключевые этапы процесса стратегического планирования, от анализа внешней среды до разработки и реализации инициатив.

**Ключевые слова:** стратегический анализ, корпоративное управление, долгосрочное планирование, конкурентоспособность, организационная стратегия, управление рисками.

**D.A. Gorbachev**

Tolyatti State University, Tolyatti

**FUNDAMENTALS OF STRATEGIC PLANNING AT  
IT-INDUSTRY ENTERPRISES FOR PRODUCTION  
AND DISTRIBUTION OF CLOUD SOFTWARE PRODUCTS**

This article highlights the key role of strategic planning in the management of modern enterprises. It emphasizes that strategic planning allows companies to define their long-term goals and develop effective approaches to achieve them. Special attention is given to analyzing the advantages of strategic planning, including increased competitiveness, better understanding of market trends, and strengthening of internal corporate culture. The article discusses the key stages of the strategic planning process, from analyzing the external environment to developing and implementing strategic initiatives.

**Keywords:** strategic analysis, corporate governance, long-term planning, competitiveness, organizational strategy, risk management.

Стратегическое планирование на предприятиях – это сложный и многоаспектный процесс, который необходим для определения курса компании на долгосрочную перспективу и подготовки ее к успешному развитию в условиях постоянно меняющегося бизнес-ландшафта. В основе стратегического планирования лежит определение миссии и видения компании: миссия отражает основные цели и принципы деятельности компании, в то время как видение задает стратегическую направленность и описывает, как компания видит свое будущее.

Основополагающим элементом стратегического планирования является анализ, как внутренний, так и внешний. Внутренний анализ включает оценку компетенций компании, ее ресурсов и процессов. Внешний анализ сконцентрирован на изучении рыночных тенденций, действий конкурентов и общих экономических условий. Инструменты, такие как SWOT (анализ сильных и слабых сторон, возможностей и угроз) и PEST (анализ политических, экономических, социальных и технологических факторов), часто используются для систематизации этих анализов [1].

После проведения анализа следующим шагом является формулирование стратегических целей. Эти цели должны быть конкретными, измеримыми, достижимыми, реалистичными и временно ограниченными, соответствуя принципам SMART. Цели могут охватывать различные аспекты деятельности компании, включая, но не ограничиваясь, расширением на новые рынки, улучшением операционной эффективности или разработкой новых продуктов и услуг.

Разработка стратегий – это процесс выбора конкретных методов и подходов для достижения поставленных целей. Стратегии могут варьироваться от инвестирования в инновации до реорганизации внутренних процессов и разработки новых маркетинговых кампаний. Важным аспектом является планирование ресурсов, необходимых для реализации этих стратегий, включая человеческие, финансовые и технические ресурсы.

Затем следует этап реализации стратегии, который требует эффективного управления, точного выполнения запланированных действий и постоянного контроля за ходом их осуществления. В этом процессе критически важна роль лидерства – руководители должны не только разрабатывать стратегические планы, но и вдохновлять свои команды на их исполнение.

Наконец, важным компонентом стратегического планирования является гибкость и способность к адаптации. В условиях постоянных изменений на рынке компаниям необходимо быть готовыми к корректировке своих стратегий, оперативно реагируя на новые вызовы и возможности.

Это требует от организаций не только реактивности, но и прозорливости, чтобы предвидеть будущие тенденции и изменения в бизнес-среде. Инновации и экспериментирование должны стать частью корпоративной культуры, позволяя компании исследовать новые подходы и бизнес-модели, что может включать в себя цифровую трансформацию, устойчивое развитие или изменения в структуре управления.

Таким образом, стратегическое планирование на предприятиях – это не статичный, а динамичный процесс, требующий постоянного пересмотра и адаптации. Он должен сочетать в себе как тщательный анализ и планирование, так и гибкость для адаптации к меняющимся условиям. Эффективное стратегическое планирование помогает компаниям не только выживать в условиях жесткой конкуренции, но и преуспевать, воспользовавшись новыми возможностями и минимизировав риски.

Особое внимание в процессе стратегического планирования следует уделить коммуникации как внутри организации, так и с внешними заинтересованными сторонами. Правильное информирование сотрудников о стратегических целях и планах способствует созданию общего видения и мотивации на его реализацию. Вовлечение сотрудников в процесс стратегического планирования также может способствовать инновациям и улучшению процессов. Требования к сотрудникам, которые работают в компаниях, для успешного достижения поставленных целей рассмотрены на рис. 1 [2].

В этом контексте управление изменениями становится интегральной частью стратегического планирования. Компании должны быть оснащены механизмами для эффективного управления изменениями, включая тренинги и развитие навыков сотрудников, а также системы управления, способные оперативно реагировать на новые вызовы и возможности. Поддержание гибкости в бизнес-процессах и гибкость в принятии решений позволяют компании быстро адаптироваться к изменяющимся условиям рынка [3].



Рис. 1. Процесс стратегического планирования на предприятии и его этапы

Также важно учитывать в стратегическом планировании влияние внешних факторов, таких как глобальные экономические изменения, политические решения, социальные тенденции и технологические инновации. Анализ этих факторов должен помогать в прогнозировании будущих сценариев и подготовке к ним. Например, цифровая трансформация может потребовать пересмотра бизнес-моделей и внедрения новых технологий, в то время как устойчивое развитие может влиять на решения по управлению ресурсами и производственными процессами.

Особое внимание в стратегическом планировании следует уделять устойчивому развитию и корпоративной социальной ответственности. Компании все чаще признают, что долгосрочный успех зависит не только от финансовых показателей, но и от их вклада в общество и окружающую среду. Интеграция принципов устойчивости в стратегическое планирование может включать разработку экологически чистых продуктов, эффективное использование ресурсов и участие в социальных проектах.

В заключение, стратегическое планирование на предприятиях является многослойным процессом, требующим глубокого понимания как внутренней динамики организации, так и внешней бизнес-среды.

Оно должно быть гибким и адаптируемым, чтобы эффективно реагировать на постоянные изменения и обеспечивать долгосрочный успех и устойчивое развитие компании. Успешное стратегическое планирование включает в себя не только разработку и реализацию планов, но и непрерывное обновление и корректировку стратегий в соответствии с изменяющимися условиями и требованиями.

Продолжая говорить о стратегическом планировании, необходимо подчеркнуть важность метрик и показателей эффективности в процессе реализации стратегии. Определение ключевых показателей эффективности (KPI) позволяет организациям измерять прогресс в достижении своих стратегических целей. Эти показатели могут включать финансовые метрики, такие как прибыльность и рост доходов, а также нефинансовые, например, удовлетворенность клиентов, уровень удержания сотрудников или воздействие на окружающую среду. Регулярный мониторинг и анализ этих показателей позволяет предприятию оперативно реагировать на вызовы и корректировать стратегии в соответствии с текущими результатами.

Важным аспектом стратегического планирования является также управление рисками. Компании должны идентифицировать потенциальные риски, связанные с реализацией своих стратегических планов, и разрабатывать стратегии для их минимизации. Это может включать диверсификацию бизнеса, страхование, создание резервных фондов и разработку планов по управлению кризисными ситуациями.

Еще одним важным элементом стратегического планирования является обучение и развитие персонала. В условиях постоянных изменений и новых вызовов сотрудники должны обладать необходимыми навыками и компетенциями для эффективной работы и реализации стратегических инициатив. Инвестиции в обучение и развитие персонала способствуют не только повышению квалификации сотрудников, но и увеличению их мотивации и лояльности к компании.

Наконец, важно подчеркнуть роль организационной культуры в процессе стратегического планирования. Культура, которая поощряет инновации, открытость, гибкость и командную работу, может значительно усилить эффективность реализации стратегических планов. Создание такой культуры требует согласованных усилий на всех уровнях организации и поддержки со стороны руководства.

В итоге стратегическое планирование на предприятиях является сложным, но критически важным процессом, требующим комплексного подхода и постоянной адаптации. Эффективное стратегическое планирование помогает организациям не только приспосабливаться к текущим рыночным условиям, но и активно формировать свое будущее, создавая устойчивые конкурентные преимущества и обеспечивая долгосрочный успех.

Продолжая тему стратегического планирования, стоит упомянуть важность интеграции технологий и инноваций в стратегические инициативы предприятий. В современном мире, где технологии развиваются стремительными темпами, предприятия должны оставаться в курсе новейших технологических трендов и оценивать, как они могут быть интегрированы в бизнес-процессы для повышения эффективности, улучшения качества продукции или услуг, а также для создания новых рыночных возможностей.

Цифровая трансформация становится ключевым элементом стратегических планов многих компаний. Это включает в себя не только внедрение передовых технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение, большие данные и облачные решения, но и переосмысление бизнес-моделей и процессов, чтобы они могли эффективно использовать эти технологии. Цифровая трансформация требует значительных инвестиций, как в технологии, так и в обучение персонала, однако потенциальная отдача от этих инвестиций может быть значительной. Общее изображение планирования продемонстрировано далее в статье на рис. 2 [4].

Предприятия, стремящиеся расширить свои рынки, должны учитывать не только экономические, но и культурные, правовые и политические аспекты в различных странах [5].

Экологическая устойчивость и социальная ответственность также становятся все более важными факторами в стратегическом планировании. Компании признают, что долгосрочный успех зависит не только от финансовых результатов, но и от того, как они взаимодействуют с обществом и окружающей средой. Стратегии, ориентированные на экологическую устойчивость, могут включать уменьшение углеродного следа, эффективное использование ресурсов.



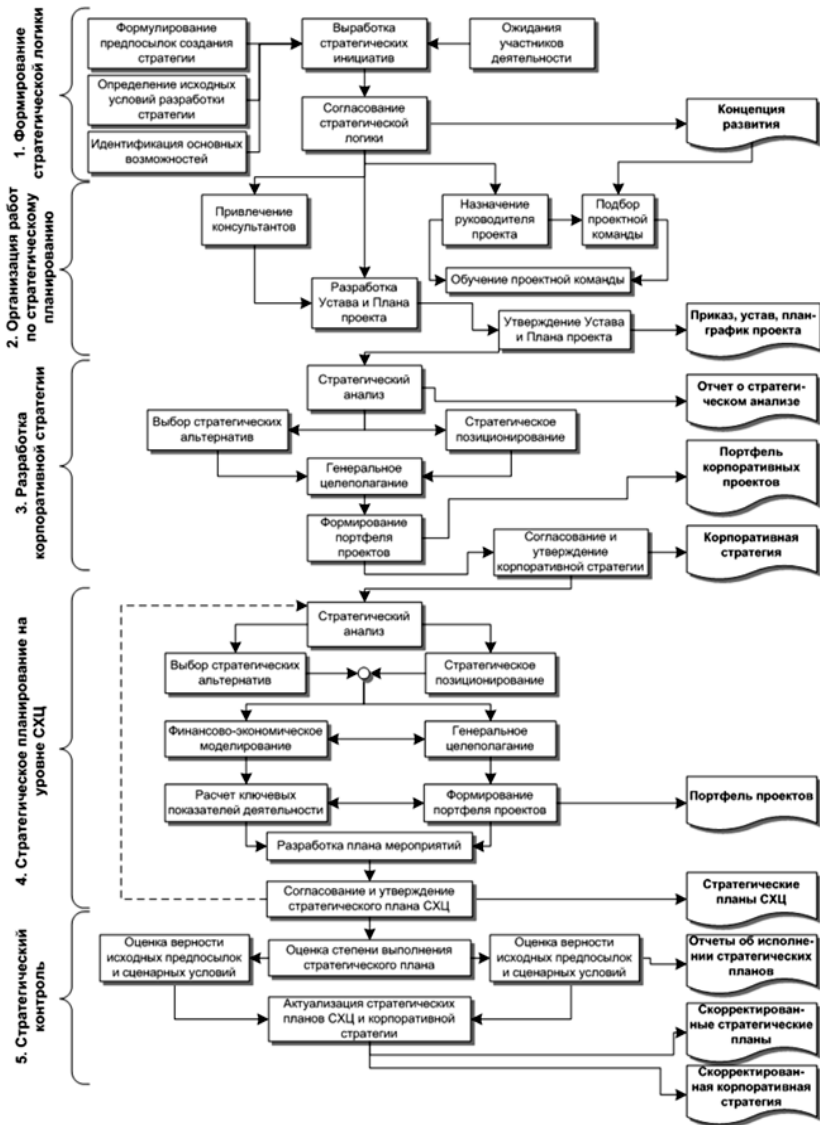


Рис. 2. Общее изображение всего процесса стратегического планирования на предприятиях

**Заключение.** Стратегическое планирование на предприятиях – это многоуровневый процесс, который требует глубокого понимания внутренних и внешних факторов, влияющих на деятельность компании. Оно включает в себя анализ текущих условий, определение долгосрочных целей и разработку планов по их достижению. Успешное стратегическое планирование требует гибкости, инноваций, постоянного обучения и адаптации к изменяющимся условиям рынка и технологий.

### **Библиографический список**

1. Турганбаев А.О. Стратегическое планирование в государственном управлении: административно-правовое исследование: автореф. дис. – 2020. – 217 с.
2. Стратегическое планирование. – URL: <https://studfile.net/preview/5562318/page:85/>
3. Доменко Ю.Ю. Управление экономикой региона на основе инструментов стратегического планирования: автореф. дис. – 2022. – 209 с.
4. Схема процесса стратегического планирования в организации. – URL: <https://remnabor.net/shema-protsesta-strategicheskogo-planirovaniya-v-organizatsii>
5. Бальчик Э.А. Формирование стратегии управления инновационными процессами предприятия на основе оценки потоков знаний: автореф. дис. – 2020. – 190 с.

### **Сведения об авторе**

**Горбачев Дмитрий Александрович** – аспирант Института финансов, экономики и управления Тольяттинского государственного университета, гр. РОЭа-2300а, г. Самара, e-mail: [sergeeeeev8@gmail.com](mailto:sergeeeeev8@gmail.com)

**А.В. Орлов<sup>1</sup>, С.Ф. Тюрин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ СХЕМ В ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯЗЫКА VHDL**

Исследуется возможность повышения надежности схем программируемых логических интегральных схем посредством автоматизации резервирования, применяемого для таких схем. Алгоритм применим к схемам, представленным в виде VHDL файла, который в данном примере получен в ходе автоматического синтеза по схеме вида State Machine File. Автоматизация проводится на основе алгоритма структурного резервирования. Оно позволяет полностью разделять логику резервных копий автомата. Рассматривается резервирование на примере произвольного управляющего автомата. Помимо основной программы разработано два дополнительных компонента, выполняющих сравнение получившихся результатов и выявление неисправностей, а также мажоритарное резервирование.

**Ключевые слова:** программируемые логические интегральные схемы, надежность, управляющие автоматы, резервирование, мажоритирование, язык VHDL, Quartus II.

**A.V. Orlov<sup>1</sup>, S.F. Tyurin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **AUTOMATIC BACKUP OF CIRCUITS IN FPGA USING VHDL LANGUAGE**

This article explores the possibility of increasing the reliability of circuits in FPGA through the automation of backup, applied to such circuits. The algorithm is applicable to circuits represented as a VHDL file, which in this example is obtained through automatic synthesis from a State Machine File scheme. Automation is based on the algorithm of structural backup. It allows completely separating the logic of backup copies of the machine. The article discusses backup on the example of an arbitrary

control machine. In addition to the main program, two additional components have been developed that perform a comparison of the results obtained and the detection of faults, as well as majority backup.

**Keywords:** FPGA, reliability, control machines, backup, majority, VHDL language, Quartus II.

Сегодня существует очень много аппаратуры использующей программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) [1–5] в том числе критического назначения, которым требуется очень высокая надежность, поэтому актуальным вопросом является повышение этого параметра.

Для обеспечения необходимой надёжности [6] в ПЛИС применяются различные методы диагностирования и отладки, отказоустойчивые элементы ПЛИС, избыточные элементы при проектировании и др.

В работе рассмотрен способ повышения надежности посредством резервирования отдельных элементов. Ранее уже были проведены исследования по теме резервирования автоматов [7, 8].

Рассмотрим способы резервирования, чтобы выбрать наиболее полезный и актуальный. Выделяют следующие способы резервирования:

1. Резервирование входов/выходов.
2. Структурное резервирование.

В нашем случае существует необходимость максимально повысить надежность резервируемого автомата, и сделать резервируемый автомат таким, чтобы по нему можно было без труда определить, в каком месте произошел сбой.

Первый способ представляет собой копирование входов и выходов функции в заданное количество раз, при этом логика программы останется общей для всех групп входов и выходов. За счет таких преобразований можно выявить неисправность в одной из групп входов/выходов.

Второй способ заключается в разделении логики работы для каждой добавленной группы входов/выходов.

Примеры способов резервирования представлены на рис. 1, 2.

Таким образом, структурное резервирование более предпочтительно, так как позволяет идентифицировать не только неисправности во входных значениях, но и некорректную работу самих функциональ-

ных ячеек. Сейчас задача состоит в том, чтобы описать такой алгоритм, реализующий структурное резервирование и получающий новый VHDL [9] файл, в котором присутствуют все элементы начального файла, но с корректным резервированием в заданное количество раз и в соответствии с заданными пользователем параметрами резервирования. Таким образом, выделяется блок PORT, в котором происходит описание переменных, блок ARCHITECTURE с описанием архитектуры работы автомата и блок BEGIN, в котором прописана основная логика работы автомата. Так как нам важна валидация резервированного автомата [10, 11], необходимо внедрить в программу способы сравнения резервированных выходных сигналов.

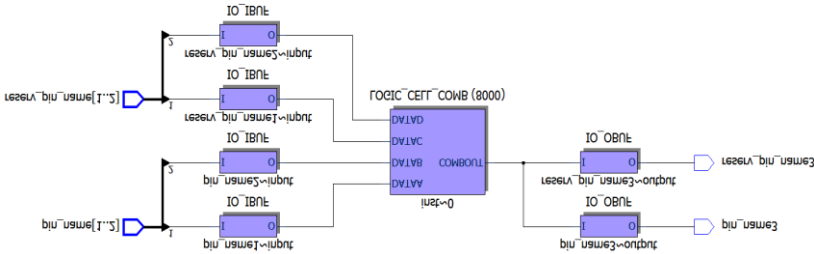


Рис. 1. Резервирование входов/выходов

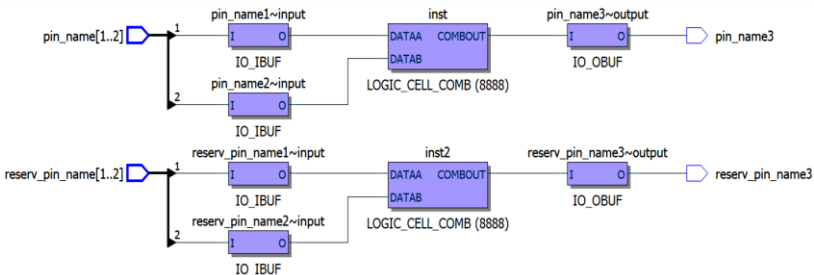


Рис. 2. Структурное резервирование

В данном примере реализовано два таких способа:

- 1) XOR (для резервирования в 2 раза);
- 2) мажорирование (для резервирования в 3, 5, 7, 9... раз).

В первом случае мы имеем в 2 раза больше выходных сигналов, то есть мы можем сравнить между собой изначальные выходные сигналы и их копии, при несовпадении специальный сигнал, означающий ошибку, будет принимать положительное значение. Таблица истинности исключающего ИЛИ представлена в табл. 1.

Во втором случае все элементы, как начальные, так и резервные, объединяются мажоритарной функцией. Алгоритм был разработан для  $n$ , принимающего нечетные значения от трех до бесконечности. Это дает достаточный уровень надежности мажоритарной функции, так как в этом случае просто выбирается наибольшее количество логических значений. Таблица истинности мажоритарной функции представлена в табл. 2.

Таблица 1

Таблица истинности исключающего ИЛИ

A	B	XOR (A, B)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Таблица 2

Таблица истинности мажоритарной функции

A	B	C	MAJORITY (A, B, C)
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

После выполнения алгоритма мы должны получить тот же автомат но более надежный и отказоустойчивый.

В табл. 3 приведены технические средства для реализации метода извлечения отношений.

## Средства разработки

№ п/п	Средство разработки	Назначение
1	Quartus II	Различные представления автомата. Автоматический синтез из одного представления в другое. Тестирование на временной диаграмме в виде State. Написание алгоритма программы, описание основного функционала
2	Visual Studio 2022 (C#)	Написание алгоритма программы, описание основного функционала

Основная функция, которая производит резервирование всех блоков VHDL-представления автомата, представлена в листинге.

Листинг – Функция автоматического резервирования VHDL-представления автомата на ЯП C#

```
public void GenerateReserv()
{
    while (curStr != null && cur-
Str.IndexOf("PORT") == -1)
    {
        f2.WriteLine(curStr);
        curStr = f1.ReadLine();
    }
    if (curStr != null && curStr.IndexOf("PORT")
> -1)
    {
        f2.WriteLine(curStr);
        curStr = f1.ReadLine();
        InsertReservPins();
    }
    while (curStr != null && cur-
Str.IndexOf("ARCHITECTURE") == -1)
    {
        f2.WriteLine(curStr);
        curStr = f1.ReadLine();
    }
}
```

```

    }
    if (curStr != null && cur-
Str.IndexOf("ARCHITECTURE") > -1)
    {
        f2.WriteLine(curStr);
        curStr = f1.ReadLine();
        InsertReservInArchitecture();
    }
}

```

### Библиографический список

1. Орлов А.В., Тюрин С.Ф. Автоматическое резервирование схем в плис с использованием языка VHDL. 2023. – 35 с.
2. Калинин В.К., Тюрин С.Ф. Автоматическое резервирование в VHDL файле САПР QUARTUS. – 2023. – 47 с.
3. Что такое ПЛИС простым языком для начинающих. – URL: <https://elektrik.info/microcontroller/1501-что-такое-плис-простым-языком-dlya-nachinayuschih.html>
4. Основные сведения о языке VHDL. – URL: <https://studfile.net/preview/7611260/page:198/>
5. Микушин А.В. Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). – URL: <https://digteh.ru/digital/PLD/>
6. Программируемые логические матрицы, программируемые логические интегральные схемы. – URL: <https://studfile.net/preview/5863387/>
7. Программируемые логические интегральные схемы. – URL: <https://pandia.ru/text/82/522/74829.php>
8. Ковач Н. Архитектура ПЛИС. – URL: <https://marsohod.org/11-blog/265-fpga>
9. Тюрин С.Ф. Вычислительная техника и информационные технологии. Цифровые автоматы и микроконтроллеры: учеб. пособие. – Пермь, 2010. – 135 с.
10. Тюрин С.Ф. Теория графов и ее приложения: учеб. пособие. – Пермь, 2017. – 207 с.



11. Структурное резервирование и его виды. – URL: <https://studizba.com/lectures/informatika-i-programmirovanie/nadezhnost-informacionnyh-sistem/4752-strukturnoe-rezervirovanie-i-ego-vidy.html>

### **Сведения об авторах**

**Орлов Артём Вячеславович** – студент Пермского государственного национального исследовательского университета, гр. ПМИ-1-20, г. Пермь, e-mail: Orlovv.AV@yandex.ru

**Тюрин Сергей Феофентович** – заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; профессор кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

**М.А. Дементьев<sup>1</sup>, С.Ф. Тюрин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ МНОЖЕСТВА ТЕСТОВЫХ НАБОРОВ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, РЕАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМЫ ФУНКЦИЙ**

Исследуется применение генетического алгоритма для диагностирования логических элементов, реализующих системы функций. Необходимо определить множество тестовых наборов, которые в дальнейшем подаются на входы логических элементов программируемых логических интегральных схем. Разработан алгоритм, который представляет собой модифицированный код генетического алгоритма для получения множества тестовых наборов логических элементов программируемых логических интегральных схем, реализующих только одну функцию. Описан общий принцип поиска диагностического множества. Выполнено тестирование, которое показало зависимость времени выполнения от общего количества функций, также изменение средней мощности диагностического множества, в зависимости от системы.

**Ключевые слова:** программируемые логические интегральные схемы, система функций, модель отказа, генетический алгоритм, вырезка, функция приспособленности, константный отказ.

**M.A. Demytyev<sup>1</sup>, S.F. Tyurin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **GENETIC ALGORITHM FOR OBTAINING A SET OF TEST SETS OF LOGIC ELEMENTS OF FPGA REALIZING SYSTEMS OF FUNCTIONS**

In the article the application of genetic algorithm for diagnostics of logic elements realizing systems of functions is investigated. It is necessary to determine a set of test sets, which are subsequently fed to the inputs of logic elements of FPGA. An algorithm is developed, which is a modified genetic algorithm code for obtaining a set of test sets of logic elements of FPGAs realizing only one function. The general principle

of finding the diagnostic set is described. Testing is performed, which showed the dependence of execution time on the total number of functions, as well as the variation of the average power of the diagnostic set, depending on the system.

**Keywords:** FPGA, function system, failure model, genetic algorithm, clipping, adaptation function, constant failure.

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС, FPGA) являются электронным компонентом, обладающим возможностью быть перепрограммированным для выполнения другой задачи, отличающейся от исходной. ПЛИС представляет собой массив логических блоков, соединённых между собой программируемыми маршрутами, позволяющими настраивать взаимосвязи между блоками [1]. Для диагностирования константного отказа необходимо построить диагностическое множество. Полученное диагностическое множество можно найти при помощи генетического алгоритма (ГА). Сам генетический алгоритм является эвристическим алгоритмом и подробно описан в [2], где рассматривается построение диагностического множества для одной функции. Разработаны логические элементы FPGA, реализующие несколько функций одновременно. Поэтому необходимо модифицировать ранее разработанный алгоритм [2].

В статье предлагается генетический алгоритм, применяемый для получения множества тестовых наборов логических элементов ПЛИС, реализующих системы функций. Результатом является диагностическое множество для системы функций. Разработанная программа способна выполняться на микроконтроллере STM32F401RE.

**Описание.** Программа на вход принимает количество функций, число аргументов каждой функции и сами функции. В дальнейшем для каждой исходной системы функций строится модель константного отказа. Принцип её построения можно показать на примере системы функций. Пусть система имеет две функции трёх аргументов  $\{ F_1(x_0, x_1, x_2), F_2(x_0, x_1, x_2) \} = \{ (\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7), (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7) \}$ , тогда её модель будет иметь вид, представленный в табл. 1. При этом  $\alpha_i, \beta_i \in \{0, 1\}$ .

В табл. 1 система функций  $f_{00}f_{01}$  является исходной системой. Как можно заметить, место отказа представлено в виде  $f_{ij}f_{ik}$ , в которой  $i$  указывает тип константного отказа (0, 1),  $j$  – это номер функции системы. Система функций  $f_{10}f_{11}$  соответствует системе  $f_{00}f_{01}$  при

константном нуле параметра  $x_0$  для каждой функции из системы;  $f_{20}f_{21}$  при константной единице параметра  $x_0$  и т.д. Таким образом,  $f_{5j}f_{5k}$  означает что в одной из двух функций присутствует отказ, в котором  $x_2 = 0$ . Поскольку пример рассматривает общий вид модели для системы двух функций, следовательно, аналогично будет и для систем, в которых количество функций больше двух.

В табл. 2 представлена модель отказов для некоторой системы функций:

$$\{ F_1(x_0, x_1, x_2), F_2(x_0, x_1, x_2) \} = \{ (1,1,1,0,0,1,1,0), (0,0,1,1,1,1,1,0) \}.$$

Таблица 1

Общий вид модели для системы функций трёх аргументов

Входные параметры				Отказа нет	Константный отказ входа					
№	$x_2$	$x_1$	$x_0$		$x_0 = 0$	$x_0 = 1$	$x_1 = 0$	$x_1 = 1$	$x_2 = 0$	$x_2 = 1$
				$f_{00}f_{01}$	$f_{10}f_{11}$	$f_{20}f_{21}$	$f_{30}f_{31}$	$f_{40}f_{41}$	$f_{50}f_{51}$	$f_{60}f_{61}$
0	0	0	0	$\alpha_0\beta_0$	$\alpha_0\beta_0$	$\alpha_1\beta_1$	$\alpha_0\beta_0$	$\alpha_2\beta_2$	$\alpha_0\beta_0$	$\alpha_4\beta_4$
1	0	0	1	$\alpha_1\beta_1$	$\alpha_0\beta_0$	$\alpha_1\beta_1$	$\alpha_1\beta_1$	$\alpha_3\beta_3$	$\alpha_1\beta_1$	$\alpha_5\beta_5$
2	0	1	0	$\alpha_2\beta_2$	$\alpha_2\beta_2$	$\alpha_3\beta_3$	$\alpha_0\beta_0$	$\alpha_2\beta_2$	$\alpha_2\beta_2$	$\alpha_6\beta_6$
3	0	1	1	$\alpha_3\beta_3$	$\alpha_2\beta_2$	$\alpha_3\beta_3$	$\alpha_1\beta_1$	$\alpha_3\beta_3$	$\alpha_3\beta_3$	$\alpha_7\beta_7$
4	1	0	0	$\alpha_4\beta_4$	$\alpha_4\beta_4$	$\alpha_5\beta_5$	$\alpha_4\beta_4$	$\alpha_6\beta_6$	$\alpha_0\beta_0$	$\alpha_4\beta_4$
5	1	0	1	$\alpha_5\beta_5$	$\alpha_4\beta_4$	$\alpha_5\beta_5$	$\alpha_5\beta_5$	$\alpha_7\beta_7$	$\alpha_1\beta_1$	$\alpha_5\beta_5$
6	1	1	0	$\alpha_6\beta_6$	$\alpha_6\beta_6$	$\alpha_7\beta_7$	$\alpha_4\beta_4$	$\alpha_6\beta_6$	$\alpha_2\beta_2$	$\alpha_6\beta_6$
7	1	1	1	$\alpha_7\beta_7$	$\alpha_6\beta_6$	$\alpha_7\beta_7$	$\alpha_5\beta_5$	$\alpha_7\beta_7$	$\alpha_3\beta_3$	$\alpha_7\beta_7$

Таблица 2

Пример модели для заданной системы функций

Входные параметры				Отказа нет	Константный отказ					
№	$x_2$	$x_1$	$x_0$		$x_0 = 0$	$x_0 = 1$	$x_1 = 0$	$x_1 = 1$	$x_2 = 0$	$x_2 = 1$
				$f_{00}f_{01}$	$f_{10}f_{11}$	$f_{20}f_{21}$	$f_{30}f_{31}$	$f_{40}f_{41}$	$f_{50}f_{51}$	$f_{60}f_{61}$
0	0	0	0	10	10	10	10	11	10	01
1	0	0	1	10	10	10	10	01	10	11
2	0	1	0	11	11	01	10	11	11	11
3	0	1	1	01	11	01	10	01	01	00
4	1	0	0	01	01	11	01	11	10	01
5	1	0	1	11	01	11	11	00	10	11
6	1	1	0	11	11	00	01	11	11	11
7	1	1	1	00	11	00	11	00	01	00

В табл. 2 строки, выделенные синим цветом, представляют собой одно из возможных оптимальных диагностических множеств.

Поиск диагностического множества проводится по принципу, который был описан в [2]. Причиной этому служит то, что популяция хранит множество возможных перестановок, полученных в результате скрещивания, мутации. Отбор формирует выборку из лучших особей по значению фитнес-функции.

Функция приспособленности реализована таким образом, что чем меньше значение, тем более приспособлена особь. Перед вычислением функции приспособленности происходит подсчёт одинаковых вырезок для соответствующих систем функций  $f_{00} \dots, f_{10} \dots, \dots, f_{2n0}$  из модели отказа, где  $n$  – количество аргументов каждой функции системы. Вырезка – это одномерный массив, значениями которого являются последовательности битов  $l$  каждой функции, где  $l$  – мощность диагностического множества. Размер массива зависит от количества функций. Для подсчёта вырезка хранится в виде массива десятичных чисел. Пусть  $c_0, c_1, \dots, c_h$  – количество повторов каждой уникальной вырезки, где  $h$  – количество уникальных вырезок. Тогда значение функции приспособленности вычисляется по формуле

$$f_f = \sum_{i=0}^{h-1} 2^{c_i-1} + (2n + 1 - h).$$

3	4								
0	0	0	3	2	0	1	0	2	
0	1	1	2	3	1	0	1	3	
0	2	0	1	0	2	3	2	2	
0	0	1	3	3	1	1	0	3	
0	2	0	3	0	2	1	0	0	
0	0	2	1	0	2	1	0	2	
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
2	1	1	1	1	1	0			

Рис. 1. Возможные последовательности вырезок и их уникальность

Рис. 1 отражает предложенный принцип поиска уникальных вырезок для некоторых наборов. Таким образом, для множества  $\{3, 4\}$  определены возможные вырезки и их уникальность, которая пред-

ставлена набором  $\{2, 1, 1, 1, 1, 1, 0\}$ , что свидетельствует о неунитарности вырезок.

Для системы функций, приведенной в табл. 2, оптимальным решением является набор  $\{0, 6, 7\}$ , при этом тривиальный тест содержит все 8 наборов  $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ . Строки, выделенные синим цветом, являются тем самым набором. Соответствующее диагностическое дерево контроля, позволяющее распознать единичный константный отказ по результатам применения диагностического множества, полученного при работе ГА, показано на рис. 2.

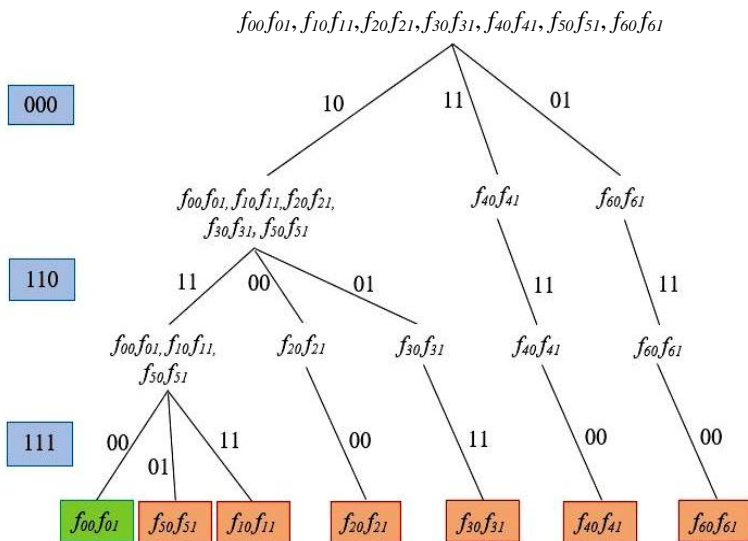


Рис. 2. Процесс распознавания отказа

Таким образом, по полученному дереву можно сказать, что, если на вход будет подана последовательность сигналов  $\{000, 110, 111\}$  и выходной был  $\{10, 11, 01\}$ . Это значит, что был обнаружен единичный константный отказ, в котором  $x_2 = 0$ , чему соответствуют система функций  $\{f_{50}f_{51}\}$  модели отказа. Все типы отказов отмечены красным цветом в табл. 2.

Как было описано в [2–5] условием остановки цикла является нахождение корректного диагностического множества или достижение

переменной  $l$  её максимально возможного значения включительно, где  $l$  – мощность диагностического множества, максимально допустимое значение  $l$  равняется  $2n + 1$ , где  $n$  – количество аргументов каждой функции исходной системы. Но для системы функций минимальное значение  $l$  будет равно двум. Причиной этому служит то, что количество возможных комбинаций увеличивается в зависимости от количества функций.

**Анализ результатов.** Для тестирования было сгенерировано 500 систем функций, то есть 50 систем для каждого случая. Для каждой системы ГА запускался 100 раз. Из этих 100 запусков высчитывалось среднее значение для каждой поданной на вход системы функций.

В табл. 3 представлено среднее время, затраченное исключительно на поиск диагностического множества с использованием ГА.

Таблица 3

Результаты применения ГА к системе функций

Количество функций	Время на систему, с	Средняя мощность диагностического множества	Количество аргументов $n$
2	0,0121	3,271	3
3	0,0098	2,684	3
4	0,0081	2,258	3
5	0,0045	2,066	3
6	0,0033	2,005	3
7	0,0029	2,003	3
8	0,0034	2,002	3
9	0,0021	2,000	3
10	0,0024	2,001	3
11	0,0019	2,000	3

В результате тестирования можно сделать вывод, что время, затраченное на поиск диагностического множества, уменьшается в зависимости от количества функций системы. То есть чем больше функций подается на вход, тем быстрее можно получить результат. Также можно заметить, что мощность диагностического множества стремится к двум.

**Заключение.** Таким образом, разработан генетический алгоритм для получения множества тестовых наборов логических элементов ПЛИС, реализующих системы функций. Предлагаемая программа позволяет найти диагностическое множество для системы функций. Та-

ким образом, полученный набор в дальнейшем подается на входы логических элементов ПЛИС. Дальнейшее исследование может быть посвящено использованию функций, таблицы истинности которых содержат несущественные значения переменных (~).

### **Библиографический список**

1. Что такое ПЛИС простым языком для начинающих [Электронный ресурс]. – URL: <https://elektrik.info/microcontroller/1501-chto-takoe-plis-prostym-yazykom-dlya-nachinayuschih.html> (дата обращения: 06.12.2023).

2. Danilova E.Y., Kovylyayev D., Gorodilov A.Y. Advanced Genetic Algorithm for the Embedded FPGA Logic Diagnostic. – Zilina, Slovakia, 2021, IDT.

3. Danilova E.Y., Kovylyayev D. Embedded FPGA Diagnostics of Multiple Logic Elements using the Stm32 Microcontroller. – Saint Petersburg: ElConRus, 2023.

4. Vikhorev R. Universal logic cells to implement systems functions. – Saint Petersburg: ElConRus, 2016. – 404 p.

5. Vikhorev R. Improved FPGA logic elements and their simulation. – Saint Petersburg: ElConRus, 2018. – 275 p.

### **Сведения об авторах**

**Дементьев Михаил Александрович** – студент Пермского государственного национального исследовательского университета, гр. ПМИ-2-20, г. Пермь, e-mail: [mikhail.dementev.2@gmail.com](mailto:mikhail.dementev.2@gmail.com)

**Тюрин Сергей Феофентович** – заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; профессор кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: [tyurinsergfeo@yandex.ru](mailto:tyurinsergfeo@yandex.ru)



**Н.Д. Черноиван**

Южно-Российский государственный политехнический  
университет им. М.И. Платова, Новочеркасск

## **РОЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗРАБОТКЕ САЙТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Рассматриваются этапы проектирования веб-сайта средней школы, в рамках которого построены диаграмма вариантов использования системы, функциональные модули подсистем, логическая и физическая модели данных.

**Ключевые слова:** диаграмма вариантов использования, функциональные модули, глагол, отношение, логическая модель данных, физическая модель данных.

**N.D. Chernov**

South Russian State Polytechnic University  
named after M.I. Platova, Novocherkassk

## **THE ROLE OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL ORGANIZATION'S WEBSITE**

This article discusses the stages of designing a secondary school website, within which a diagram of system use cases, functional modules of subsystems, logical and physical data models are constructed.

**Keywords:** use case diagram, functional modules, verb, relation, logical data model, physical data model.

В настоящее время образовательные учреждения должны не только обеспечивать высокое качество образования, но также использовать современные методы предоставления информации. Веб-сайты для школ стали неотъемлемой частью деятельности любого образовательного учреждения. Они позволяют не только предоставлять информацию о курсах и образовательных программах, но также обеспечивают интерактивное взаимодействие с учащимися и преподавателями.

Создание веб-сайта для школы – это сложный процесс, требующий не только знаний в области программирования и дизайна, но и понимания особенностей образовательного процесса, а также соот-

ветствия требованиям к структуре официального сайта образовательного учреждения. В таких случаях интеллектуальные технологии могут стать важным инструментом [1].

Применение интеллектуальных технологий при создании веб-сайта образовательной организации может включать создание диаграммы вариантов использования системы. Эта диаграмма описывает типичные взаимодействия между пользователями системы и самой системой, включая актеров, возможности использования и связи между ними [2]. Актером (действующим лицом) называется любой объект, субъект или система, которые взаимодействуют с моделируемой системой извне. Вариант использования представляет собой спецификацию сервисов (функций), которые система предоставляет актеру. Следовательно, каждый вариант использования определяет определенный набор действий, выполняемых системой при взаимодействии с актером [3]. При этом модель не описывает способ реализации этого набора действий. На рис. 1 представлена диаграмма вариантов использования системы.

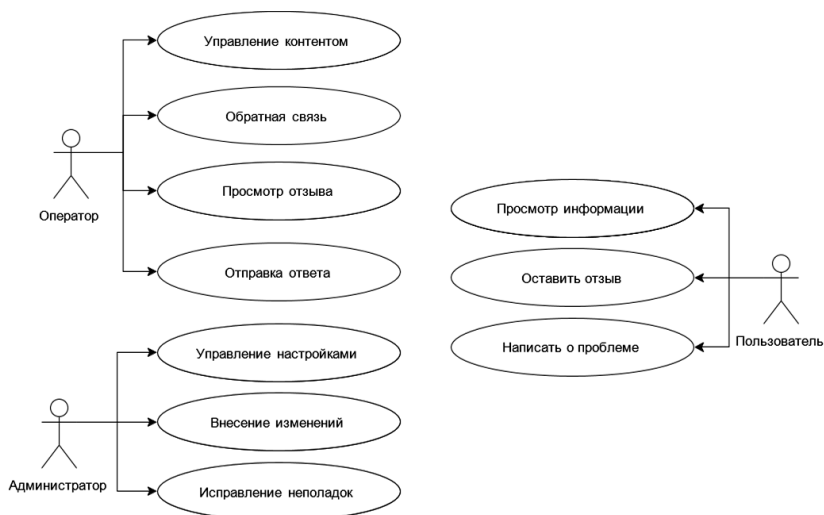


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования системы

Следующим этапом необходимо выделить определение подсистем и функциональных модулей, которые является не только дополнительной степенью детализации в разработке системы, но также они позво-

ляют определить основные принципы и механизмы работы веб-сайта, которые, в свою очередь, помогут определить архитектуру будущей программной реализации. Подсистемы пользователя и администратора представлены на рис. 2, 3 [4].

Далее необходимо выделить определение подсистем и функциональных модулей, которые не только уточняют разработку системы, но также определяют основные принципы и механизмы работы веб-сайта. Это поможет определить архитектуру будущей программной реализации.



Рис. 2. Функциональный модуль подсистемы пользователя

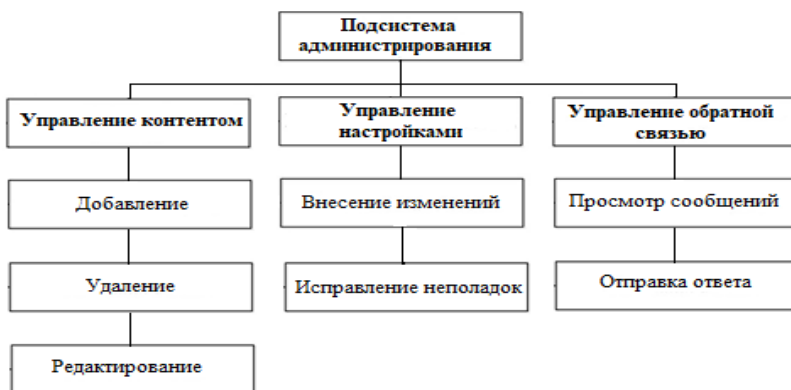


Рис. 3. Функциональный модуль подсистемы администрирования

При разработке веб-сайта для образовательной организации важно учитывать бизнес-процессы и потребности заказчика, а также определить, какая информация будет управляться системой. Для этого необходимо определить объекты, которые относятся к предметной области проекта, и логические связи между ними. Для формирования такого понимания используется логическая модель предметной области, представленная на рис. 4.

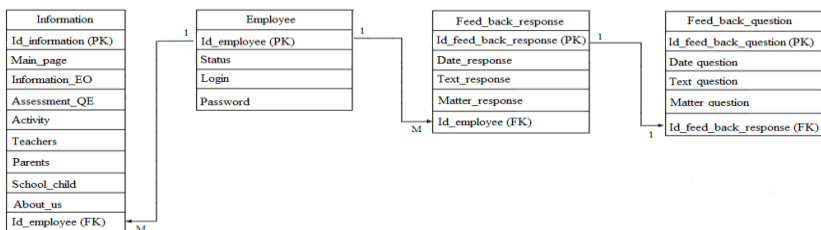


Рис. 4. Логическая модель данных

Далее необходимо создать физическую модель данных, которая описывает, как объекты из логической модели будут реализованы на уровне конкретной системы управления базами данных (СУБД). На этом этапе сущности, созданные на предыдущей стадии, будут преобразованы в таблицы, а их атрибуты – в столбцы таблиц. Для ключевых атрибутов будут созданы уникальные индексы, а каждому столбцу будет присвоен соответствующий тип данных. На рис. 5 представлена физическая модель [4].

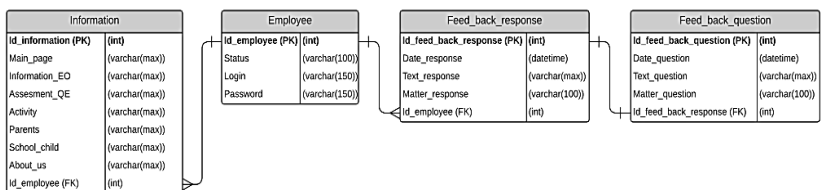


Рис. 5. Физическая модель базы данных

Каждая из моделей, представленных на этапах разработки сайта образовательной организации, имеет свою важность. Диаграмма вариантов использования помогла выделить основные функции и свойства системы, что послужило основой для детализации функциональной

иерархии. Логическая модель была создана для графического отображения структуры предметной области и ее сущностей. После этого была создана физическая модель, которая описывает, как объекты из логической модели будут реализованы на уровне конкретной СУБД. Важно различать взаимосвязи между атрибутами одного объекта и различных объектов при проектировании базы данных [4].

Разработка сайта образовательной организации с применением интеллектуальных технологий является важным фактором, который способствует улучшению качества сайта, повышению эффективности образовательного процесса и усовершенствованию взаимодействия между учениками и преподавателями.

### **Библиографический список**

1. Карпова А.А., Карпов И.В. Создание веб-сайтов для школ: практическое руководство. – М.: Просвещение, 2018.
2. Шувалов Д.Ю. Интеллектуальные технологии в разработке веб-сайтов. – СПб.: Лань, 2017.
3. Бабушкин С.А. Проектирование информационных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016.
4. Гребенщиков М.А. Архитектура веб-приложений. – М.: ДМК Пресс, 2015.

### **Сведения об авторе**

**Черноиван Надежда Дмитриевна** – студентка Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, e-mail: furmanovanadezda9@gmail.com

**М.А. Бигаева**

Южно-Российский государственный политехнический  
университет им. М.И. Платова, Новочеркасск

## **СПЕЦИФИКАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОЙ КЛИНИКИ**

Исследованы этапы по созданию информационной системы стоматологической клиники, в рамках которой построены диаграммы вариантов использования системы, инфологическая модель, логическая и физическая модели данных.

**Ключевые слова:** диаграмма вариантов использования, инфологическая модель данных, логическая модель данных, физическая модель данных.

**M.A. Bigaeva**

South Russian State Polytechnic University  
named after M.I. Platova, Novocherkassk

## **SPECIFICATION OF REQUIREMENTS AS A TOOL FOR DESIGNING DATA MODELS OF A DENTAL CLINIC INFORMATION SYSTEM**

This article examines the stages of creating an information system for a dental clinic, within which diagrams of system use cases, an infological model, logical and physical data models are constructed.

**Keywords:** use case diagram, infological data model, logical data model, physical data model.

В настоящий момент разработка информационной системы стоматологической клиники требует интеграции разнообразных интеллектуальных технологий для повышения эффективности и точности диагностики, управления клинической практикой и улучшения взаимодействия с пациентами [1]. Программное обеспечение для управления данными пациентов, организация записей о приемах, диагностическое исследование региона зубов и челюстей, создание карточек пациентов, управление лекарственными препаратами, автоматизация работы персонала – все это только некоторые аспекты, где применение интеллектуальных технологий имеет колоссальное значение.

Одним из примеров применения указанных технологий в разработке информационной системы является построение диаграммы вариантов использования системы, которая иллюстрирует типичные взаимодействия между пользователями и самой системой [2]. На рис. 1 представлена диаграмма вариантов использования системы.



Рис. 1. Диаграмма вариантов использования системы

Основной целью использования системы является эксплуатация в регистратуре. В стоматологической клинике заводится карточка на пациента, которая храниться в базе данных.

Создание карточки и внесение пациента в базу доступно только регистратору. У администратора и регистратора нет доступа к заключению врача, а также закрыт доступ к просмотру данных о лечении пациента.

Система управления предназначена для следующих лиц:

1. Администратор является ключевым составляющим в этой системе. Он добавляет, редактирует и удаляет данные о специалистах, услугах, специализациях, ролях, учетных записях и графике работы сотрудников [3]. В учётную запись входит логин и пароль, который сгенерирован из случайных чисел и не повторяется.

2. Регистратор может добавлять, редактировать и удалять данные о клиентах и записях приёма, а также просматривать информацию о: времени работы специалиста, услугах и данные о лечении клиента.

3. Врач. Вход в информационную систему от специалиста дает ему возможность просматривать данные о лечении клиентов, которые записаны к нему на приём и заполнять медицинскую карту, назначение лечения и постановку диагноза. После спецификации требований можно приступать к построению инфологической модели данных (рис. 2).

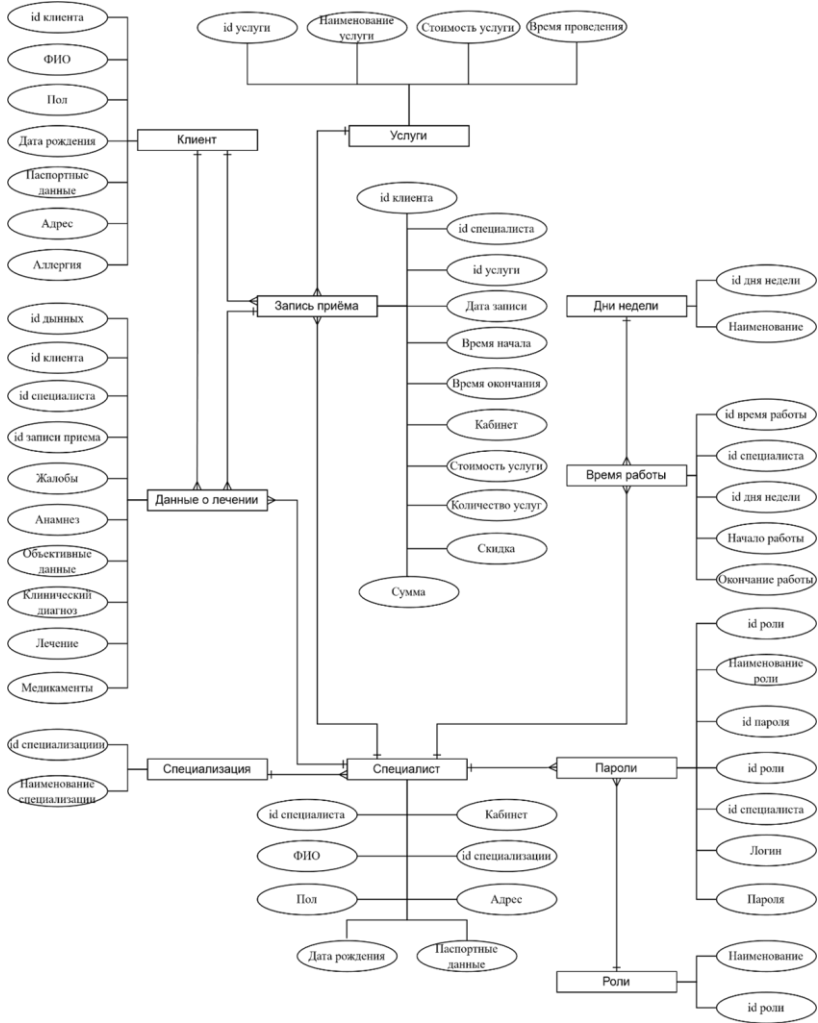


Рис. 2. Инфологическая модель данных



Инфологическая модель преследует цель обеспечения наиболее естественных для человека способов сбора и представления той информации, которую предполагается хранить в создаваемой базе данных, поэтому ее строят по аналогии с естественным языком. Основными конструктивными элементами являются сущности, связи между ними и их свойства. На основании анализа предметной области а также инфологической модели было построено графическое представление логической модели. Данная схема размещена на рис. 3 [2].

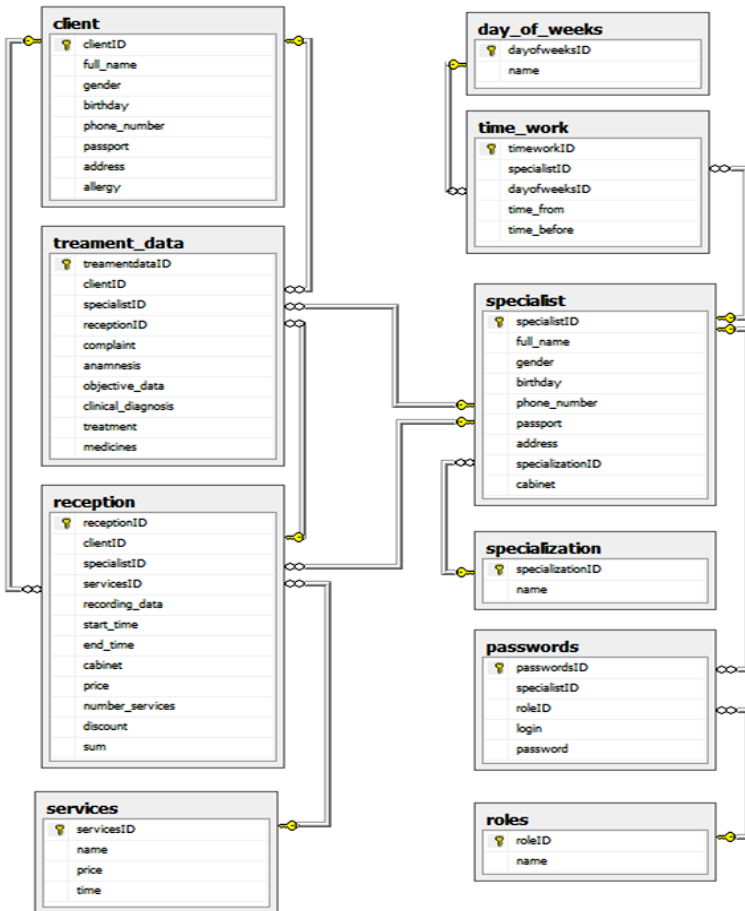


Рис. 3. Логическая модель данных

После того как определены сущности, следующим шагом в концептуализации предметной области, является определение атрибутов этих сущностей и создание таблиц в базе данных. Для этого используется физическая модель данных, представленная на рис. 4 [3].

Физическая модель данных – модель, определяющая размещение данных на носителях, методы доступа и технику индексирования. Внешний пользователь может ничего не знать о том, как его представления о данных физически организовано в памяти вычислительной системы.

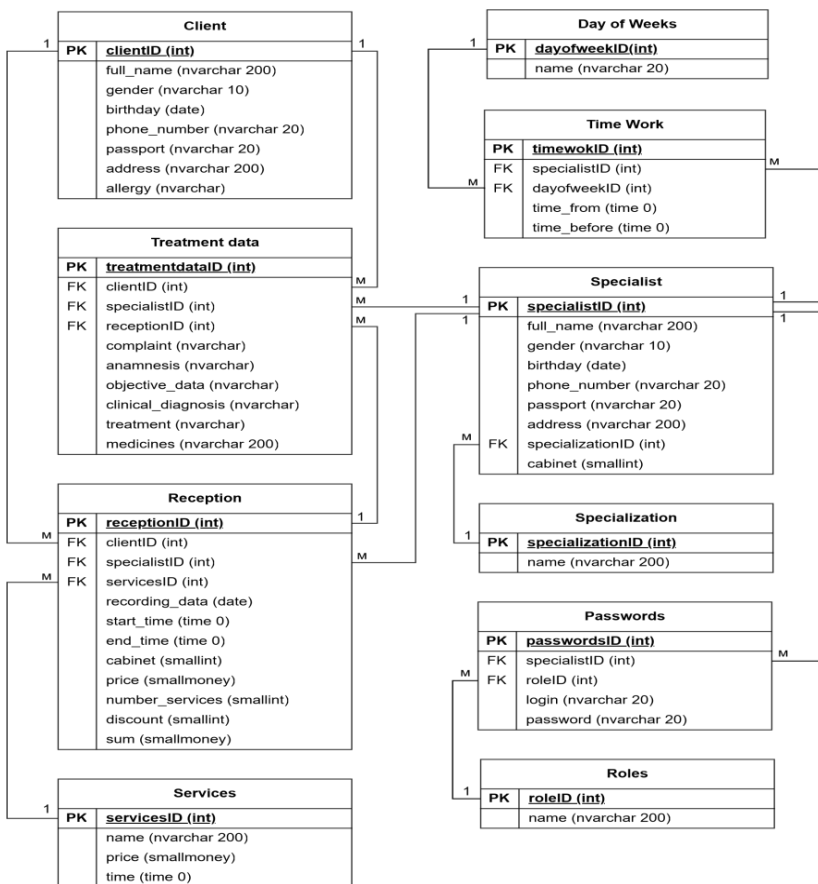


Рис. 4. Физическая модель базы данных

При работе над выбранной темой основной упор был направлен на анализ деятельности организаций и разработку инфологической, логической и физической моделей. Каждая из приведённых моделей играет существенную роль в процессе разработки информационной системы стоматологической клиники. Так, диаграмма вариантов использования помогает определить типичные взаимодействия между пользователями и системой, выделяя ключевые варианты использования.

Резюмируя построение моделей данных, можно кратко дать следующие характеристики: инфологическая модель дает понимание о структуре используемых данных, но не определяет специфичные технические подробности; логическая модель концентрируется на представлении данных в системе; физическая модель данных фокусируется на технических аспектах реализации базы данных, включая конкретные типы данных, индексы, ключи и т.д. Следует отметить, использование интеллектуальных технологий в разработке информационных систем стоматологических клиник имеет огромное значение для современной стоматологии. Дальнейшее развитие и внедрение подобных инновационных решений не только повысит качество медицинского обслуживания, но и создаст новые возможности для дальнейших исследований и успехов в области стоматологической практики.

### **Библиографический список**

1. Иванов И.И., Петров П.П. Интеллектуальные системы в здравоохранении: современные подходы. – М.: Медицинское информационное агентство, 2018. – 256 с.

2. Белов В.В., Смирнов Н.Н. Интеграция интеллектуальных технологий в информационные системы здравоохранения // Научные труды университета здравоохранения. – 2020. – Т. 5, № 2. – С. 78–89.

3. Сидоров А.А. Разработка информационных систем для стоматологических клиник // Журнал стоматологической информатики. – 2019. –Т. 14, № 3. – С. 112–125.

### **Сведения об авторе**

**Бигаева Милана Аслановна** – студентка Южно-Российского государственного политехнического университета имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, e-mail: bigaeva03@inbox.ru

**В.В. Семенюк, М.В. Складчиков**

Южно-Российский государственный политехнический  
университет им. М.И. Платова, Новочеркасск

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СУБЪЕКТА НА ОСНОВАНИИ РЕЧЕВЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА MATLAB**

Компьютерное распознавание образов является довольно сложной задачей, которая успешно решается за счет применения искусственных нейронных сетей. Автоматическая идентификация образов (текст, звук, лицо, предметы и т.д.) с помощью компьютера является одним из наиболее перспективных направлений развития технологий искусственного интеллекта. В данной статье описан подход к распознаванию эмоционального состояния человека по голосовым записям с помощью сверточной нейронной сети и программной среды MatLab, путем предобработки данных и преобразования записей в спектрограмму. Приведены результаты экспериментальных исследований, позволяющие оценить точность работы алгоритма.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, распознавание эмоций человека, сверточная нейронная сеть, дактилоскопия звука, Tensorflow, MatLab.

**V.V. Semenuk, M.V. Skladchikov**

South Russian State Polytechnic University  
named after M.I. Platova, Novocherkassk

## **DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CLASSIFYING THE EMOTIONAL STATE OF THE SUBJECT BASED ON SPEECH DATA USING THE MATLAB PACKAGE**

Computer pattern recognition is a rather difficult task, which is successfully solved through the use of artificial neural networks. Automatic identification of images (text, sound, face, objects, etc.) using a computer is one of the most promising areas of development of artificial intelligence technologies. This article describes an approach to recognizing a person's emotional state from voice recordings using a convolutional neural network and the MatLab software environment, by preprocessing data and converting recordings into a spectrogram. The results of experimental studies are presented to assess the accuracy of the algorithm.

**Keywords:** neural network, human emotion recognition, convolutional neural network, sound fingerprinting, Tensorflow, MatLab.

В современном мире, когда технический прогресс достиг определённого уровня, появляются новые возможности, что побуждает к созданию новых или усовершенствованию имеющихся систем. Для достижения требуемых эргономических параметров остро стоит задача создания алгоритмов, являющихся результатом объединения различных вариантов систем. Помимо задачи создания нового варианта структуры системы, необходимо уделить внимание вопросу самоорганизации.

Такие системы в настоящее время являются наиболее актуальными. Это связано, в первую очередь, с принципом работы описанных систем. В зависимости от информации, которая поступает на вход данной системы, алгоритм подстраивается под входные данные. В том случае, когда на входе появляется новый набор данных, не участвующий в обучении, алгоритм запоминает её. Тем самым удаётся накапливать опыт, содержащийся в наборе данных. Данная система наиболее актуальна в том случае, когда имеется потребность работы с большим количеством данных (изображение, звук) [1]. Системы распознавания образов применяются во множестве сфер и позволяют решить множество практических задач в современном мире.

Ввиду сложной природы образов, подлежащих идентификации, разрабатываемые системы опираются на определённые «триггеры», или классы, которые описывают распознаваемый объект. Вследствие увеличения спроса на системы идентификации увеличилась и сложность разрабатываемых систем. Одним из вариантов подобных систем являются алгоритмы распознавания эмоций человека.

Эмоции человека – это реакция организма на внутренние или внешние триггеры. Как утверждает физиолог П.К. Анохин, способность выражать эмоции является результатом эволюционного становления современного человека. Он рассматривал способность выражения эмоций с точки зрения адаптации первобытного человека к жёстким условиям внешнего мира. В современном же мире эмоциональный окрас субъекта позволяет наладить межличностные отношения и укрепить невербальную связь в обществе.

Если рассматривать эмоции человека как объект для идентификации, то разрабатываемая система должна учитывать множество факторов. Ввиду индивидуальности каждого субъекта, а также его психологического состояния, которое в период жизни может изменяться, довольно сложно выделить единый способ оценки эмоций. При попытке постро-

ить информационную модель системы идентификации, имитирующую психологическое поведение человека, полностью и достаточно точно описать внутреннюю структуру не удастся. В науке подобные системы принято называть «черный ящик». При описании задачи идентификации эмоций как последовательного алгоритма, мы в состоянии проанализировать внешнее воздействие, на основании которого можем предположить результат действия субъекта. Однако полностью восстановить внутреннюю структуру и модель поведения человека, которая необходима для построения системы распознавания эмоций, практически невозможно. Описанная проблематика анализа связана в первую очередь с различными моделями поведения и различной реакцией особи на внешние возмущения. В связи с увеличением сфер применения, направленных на решение сложных технических задач, которые, в свою очередь, требуют внедрения систем идентификации эмоций (робототехника и системы безопасности и т.д.), необходимо систематизировать существующие подходы к решению поставленной задачи, а также разработать новый алгоритм для классификации эмоций человека [2–9].

В ходе проведения исследования было решено создать две модели нейронной сети, позволяющие идентифицировать:

1. Три класса эмоций: позитивные, негативные и нейтральные.
2. Семь классов эмоций: агрессия, отвращение, страх, счастье, нейтральное состояние, печаль, удивление.

Основная структура распознавания эмоций человека представлена на рис. 1.

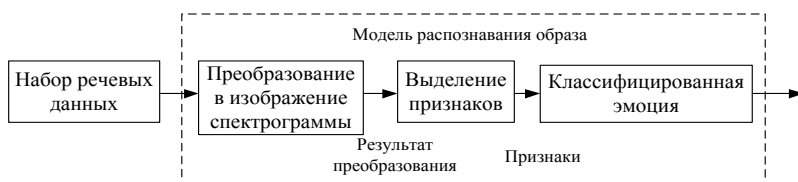


Рис. 1. Структура распознавания

Рассмотрим данную структуру более подробно.

Основной целью преобразования входных аудиоданных является построение частотной синусоиды, которая в последующем будет представлена в виде изображения спектрограммы.

Пусть имеется входной набор данных, представленный в виде аудиоволны. В любой момент времени можно получить данные об амплитуде сигнала и его гармонической составляющей. На основании амплитудных и гармонических колебаний представляется возможным выделить акустический спектр тона. При его анализе возможно выделить несущую (ключевую) частоту, характерную для отдельного эмоционального состояния человека.

Подобное исследование уже проводилось [10–14]. Обучение проводилось на основании речевой базы данных. Перед тренировкой нейронной сети речевые данные подвергались преобразованию в спектрограмму. Однако точность работы алгоритма, полученная в результате обучения нейронной сети, являлась неудовлетворительной, что оставляло вопрос улучшения алгоритма открытым.

Для улучшения работоспособности алгоритма было решено заменить метод извлечения характеристик для обучения нейронной сети. В предыдущем исследовании для построения спектрограмм использовалось оконное преобразование Фурье. Однако после более глубокого исследования, было обнаружено, что использование мел-спектрограмм позволит значительно увеличить точность работы алгоритма.

Для проведения данного исследования было решено выбрать программную среду MatLab. Данный выбор можно обосновать тем, что в MatLab имеется мощный инструмент Deep Network Designer, позволяющий визуализировать процесс создания нейронной сети. Также имеется возможность параллельной работы в среде MatLab, что уменьшает время, затрачиваемое на обучение.

Для обучения использовался набор речевых данных по 400 аудиозаписей для каждой эмоции. Было решено разделить данные в следующем процентном соотношении: 80 % для обучения (320 аудиозаписей), 20 % для валидации (80 аудиозаписей).

В Matlab была разработана структура нейронной сети, состоящая из 24 слоёв (рис. 2). Для обучения нейронной сети был использован алгоритм оптимизации «Адама». В сравнении с остальными алгоритмами оптимизации (стохастический градиентный спуск и RMSProb), выбранный даёт максимальную точность и скорость обучения. Для тренировки нейронной сети было задано 70 эпох обучения. В результате, процесс обучения был завершён за 6 мин и 44 с, причём точность обучения составила 100 % (рис. 3).

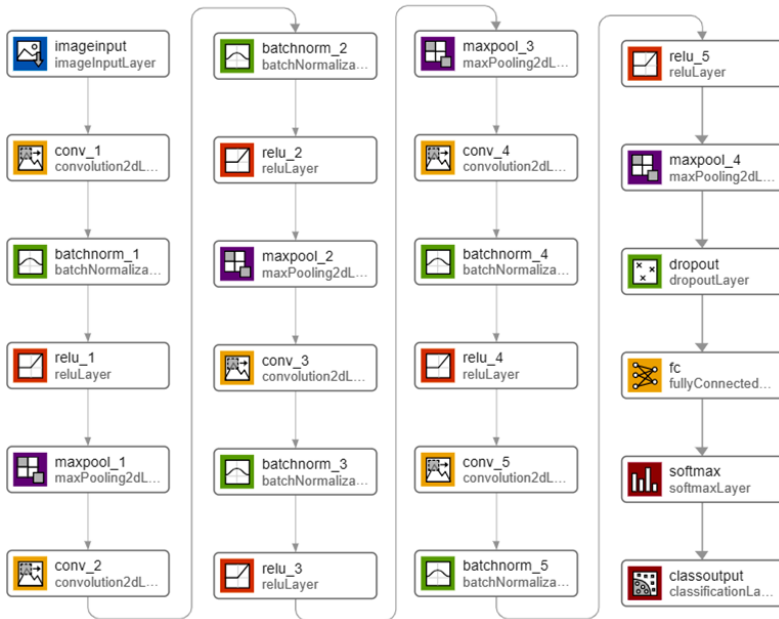


Рис. 2. Структура нейронной сети

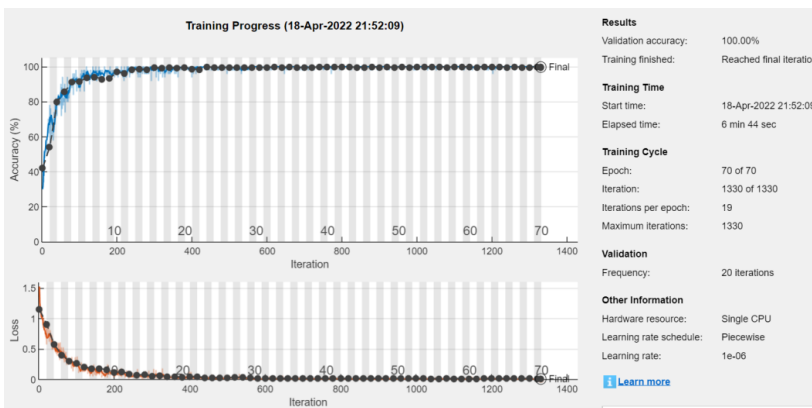


Рис. 3. Результат обучения модели нейронной сети для трех эмоций

На рис. 4 представлены результаты тестирования нейронной сети для трех эмоций.



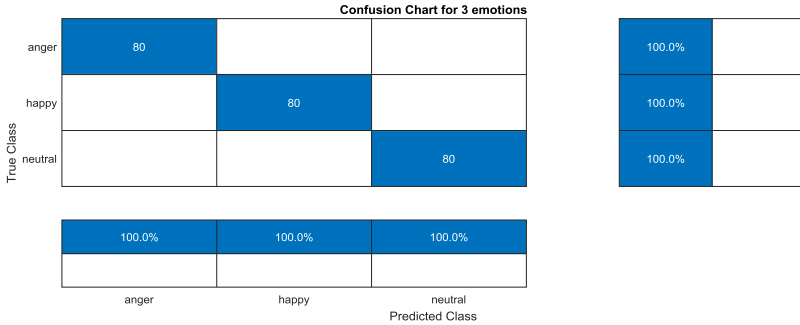


Рис. 4. Результат распознавания эмоций обученной нейронной сетью

Следующим этапом научного исследования являлось использование описанной выше структуры нейронной сети (см. рис. 2), но надо было обучить её на распознавание большего количества эмоций.

На рис. 5 представлен результат обучения для семи эмоциональных состояний.

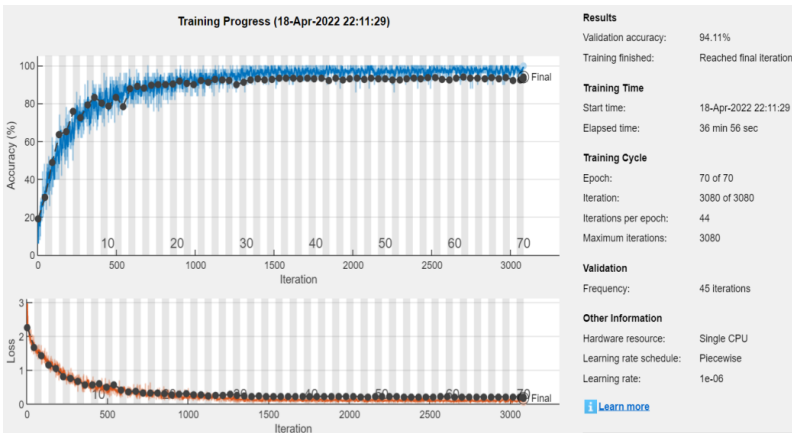


Рис. 5. Результат обучения модели нейронной сети для семи эмоций

На обучение было затрачено около 37 мин и точность распознавания составляет 94,11 %.

На рис. 6 представлены результаты тестирования нейронной сети для семи эмоций.

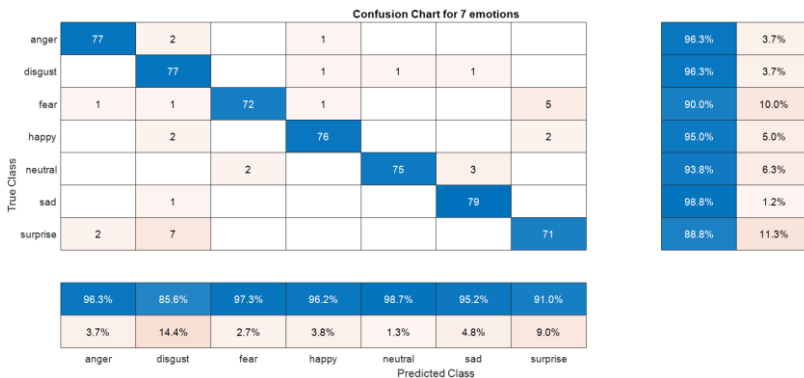


Рис. 6. Результат распознавания семи эмоций

В результате проведённого исследования и полученных результатов видно, что алгоритм функционирующий и может применяться в различных сферах деятельности в соответствие с поставленной задачей. Ввиду открытости синергетические алгоритмы позволяют решать большое количество проблем за счёт возможности беспрепятственного «поглощения» информационных потоков извне, что в последующем влечёт за собой изменение внутренней структуры. Также стоит отметить, что данные системы являются нелинейными, что позволяет существенно сузить порог нечувствительности разрабатываемой системы. Это в особенности позволяет решить вопрос нестабильности, а также изменчивости информационных потоков.

При соблюдении определённых условий имеется возможность объединения нескольких подобных подходов. Основная задача при таком объединении – поиск способа предотвращения коллизий при совместной их работе. Удачный синтез развивающихся систем можно обеспечить на основе закономерностей и принципов, которые лежат в основе процессов самоорганизации этих систем, а именно за счёт диссипативного свойства описываемых алгоритмов.

В дальнейшем планируется проведение исследования по созданию более универсального синергетического алгоритма, позволяющего снизить время обучения до минимума при возможном увеличении точности создаваемого алгоритма.

## Библиографический список

1. Клименко Н.С. Разработка структуры текстонезависимой системы идентификации диктора // Искусственный интеллект. – 2012. – № 4. – С. 161–171.
2. Семенюк В.В. Повышение качества компьютерного распознавания эмоционального состояния человека по голосу // Научные революции: сущность и роль в развитии науки и техники: материалы науч.-практ. конф. – Челябинск, АЭТЕРНА, 2021. – 142 с.
3. Топ-5 сфер применения систем распознавания объектов [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/433544/> (дата обращения: 10.03.2022).
4. Шиллер А.В. Выражение модернизируемых эффектов эмоций у искусственных агентов как визуальный язык // Праксема. Проблемы визуальной семиотики. – 2019. – № 4 (22). – С. 223–243.
5. Складчиков М.В., Розкаряка П.И. Разработка алгоритма планирования траектории перемещения для роботизированной системы с использованием контроллера Kinect // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2: Перспективы развития электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – С. 65–77.
6. Рюмина Е.В., Карпов А.А. Аналитический обзор методов распознавания эмоций по выражениям лица человека // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 163–176.
7. Карпичников А.П., Ляшева С.А., Шлеймович М.П. Обнаружение и сопровождение людей в интеллектуальных детекторах внештатных ситуаций // Вестник Казанск. технолог. ун-та. – 2014. – С. 351–356.
8. Empathy and emotion recognition in people with autism, first-degree relatives, and controls / E. Sucksmith, C. Allison, S. Baron-Cohen, V. Chakrabarti, R.A. Hoekstra // *Neuropsychologia*. – 2013. – Vol. 5. – P. 98–105.
9. Ахметшин Р.И., Кирпичников А.П., Шлеймович М.П. Распознавание эмоций человека на изображениях // Вестник технологического университета. – 2015. – № 18 (11). – С. 160–163.
10. Хрусталёв В.О., Зубков А.В. Разработка технологии распознавания эмоций человека на основе изображений, поступающих

с веб-камеры // XXIV Региональная конференция молодых учёных и исследователей Волгоградской области. – 2020. – С. 223–224.

11. Курицкий В.Ю., Садов С.В. Нейросетевой алгоритм распознавания эмоций по изображению лица // Компьютерные технологии и анализ данных (СТДА'2020). – 2020. – С. 245–248.

12. Хнюнин М.В., Гпнелина Н.Д. Перспективы применения личных мобильных устройств для распознавания эмоций человека по фотографиям лица // Интеллектуальный потенциал Сибири. – 2021. – С. 179–182.

13. Артемьева Ж.Г., Крушная Н.А. Распознавание эмоций у других людей детьми с нарушениями опорно-двигательного аппарата // Человеческий фактор: социальный психолог. – 2020. – № 1 (39). – С. 288–294.

14. Сидоров К.И., Филатова Н.Н. Автоматическое распознавание эмоций человека на основе реконструкций аттракторов образцов речи // Программные системы и вычислительные методы. – 2012. – № 1. – С. 67–79.

#### Сведения об авторах

**Семенюк Виктория Валерьевна** – аспирантка кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники» Южно-Российского государственного университета (НПИ) им. М.И. Платова, гр. АС-1-2а, г. Новочеркасск, e-mail: [semenuk.viktoriya@gmail.com](mailto:semenuk.viktoriya@gmail.com)

**Складчиков Максим Владимирович** – аспирант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Донецкого национального технического университета, г. Донецк, e-mail: [maxsklad19981@yandex.ru](mailto:maxsklad19981@yandex.ru)

**Г.И. Борзунов, П.А. Новикова, Е.А. Прохорова**

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Москва

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ НОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПАЛИТРЫ ВОЛОГОДСКОЙ  
ХОХЛОМЫ ПРИ СОЗДАНИИ ОБЪЕКТОВ  
СОВРЕМЕННОГО ДИЗАЙНА**

Выявляются оптимальные цвета палитры «вологодская хохлома». Представлен метод создания 3D-моделей оптимально заполненных геометрических примитивов. Исследуется возможность колорирования 3D-моделей в выявленную палитру и дальнейшее применение в современных дизайн-решениях. Данная работа иллюстрирует уникальные способы использования народных промыслов в современном мире.

**Ключевые слова:** дизайн-проект, информационные технологии, вологодская хохлома, колорирование, оптимально заполненные геометрические элементы, современный дизайн.

**G.I. Borzunov, P.A. Novikova, E.A. Prokhorova.**

Russian State University named after A.N. Kosygina, Moscow

**THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGY FOR A NEW  
APPLICATION OF THE VOLOGDA KHOKHLOMA PALETTE  
IN THE CREATION OF MODERN DESIGN OBJECTS**

This article identifies the optimal colors of the “Vologda khokhloma” palette. A method for creating 3D models of optimally filled geometric primitives is presented. The possibility of coloring 3D models into the identified palette and further application in modern design solutions is being explored. This work illustrates the unique ways in which folk crafts are used in the modern world.

**Keywords:** design project, information technology, Vologda khokholoma, coloring, the ability to fill in geometric elements, modern design.

Современные информационные технологии в сочетании с цветовой палитрой традиционных народных промыслов позволят достичь новых неповторимых дизайнерских решений. Со временем традиционные росписи, помимо своего прямого назначения, стали применяться и в других сферах человеческой деятельности. Они дополняют

современные вещи обихода традиционными узорами, возникает связь времени, стиля и искусства [1].

Гамма цветов как лакмусовая бумажка, ведь, зная ее, можно догадаться, какая конкретно роспись представлена [2]. Благодаря исследовательской работе была выявлена палитра гжели. Аналогичным путем была выявлена палитра вологодской хохломы, основными цветами которой являются: очень темный оттенок пурпурного (код цвета #1A171A), средне-темный оттенок синего (код цвета #213D7A), оттенок пурпурного (код цвета #746B73), средне-светлый оттенок пурпурного (код цвета #BAB2B8), светлый оттенок пурпурно-синего (код цвета # D1D0D5), средне-светлый оттенок розового (код цвета #C47B9A). Яркие и насыщенные цвета росписи, проработанные детали делают изделия, украшенные вологодской хохломой, эстетически привлекательными. Она идеально сочетается с различными стилями и добавляет неповторимый шарм в помещение.

В данной статье рассматривается способ внедрения традиционных цветовых решений росписи «вологодская хохлома», описанных выше, в современные дизайн-решения. Использование росписи «вологодская хохлома» позволяет получить оригинальную палитру для дальнейших исследований и создания уникальных композиционных решений.

В научной работе [3] был проведен эксперимент по колорированию оптимально заполненных геометрических элементов в цветовую палитру хохломы с дальнейшим совмещением получившихся самостоятельных элементов с целью создания орнаментальных композиций. Такие орнаменты имеют читаемый контур и ассоциируются с хохломской росписью. Ассоциация возникает за счет сохранения традиционной цветовой гаммы хохломы. В данной работе было проведено несколько этапов, что в итоге открывает возможности для создания новых дизайн-проектов, сохраняя народные традиции.

На первом этапе за основу берется 2D-элемент, который трансформируется в 3D-модель. Для реализации этой задачи использовалось программное обеспечение Blender. С помощью 3D-примитивов цилиндрической формы происходило заполнение геометрических фигур оптимальным образом по двумерной схеме. Заполнялись примитивы элементами разного размера с целью наилучшего сохранения контуров и читаемости фигуры.

Реализованные в программе 3D-модели треугольника и овала представлены на рис. 1, *а* и *б*, соответственно.

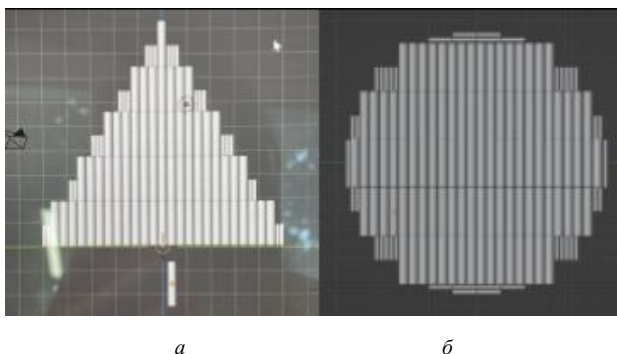


Рис. 1. Создание 3D-модели треугольной формы по оптимально заполненному геометрическому примитиву (*а*); создание 3D-модели круглой формы по оптимально заполненному геометрическому примитиву (*б*)

На втором этапе происходило колорирование созданного элемента в палитру вологодской хохломы. Реализация возможности применения цветовых решений, характеризующих традиционные росписи, позволяет создавать оригинальные орнаментальные композиции, а использование цилиндрических элементов с их дальнейшим колорированием в заданную палитру придает особенное настроение и задает свой неповторимый стиль [4]. Окрашенные 3D-модели треугольника, овала и круга представлены на рис. 2, *а – в*, соответственно.

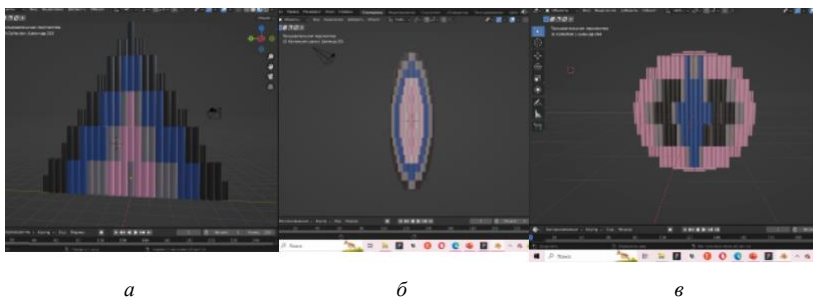


Рис. 2. Перенос палитры вологодской хохломы на 3D-модель треугольной формы (*а*); перенос палитры вологодской хохломы на 3D-модель эллипсоидной формы (*б*); перенос палитры вологодской хохломы на 3D-модель овальной формы (*в*)

Третий этап заключался в применении созданных 3D-моделей в современности. Отдельные геометрические примитивы, визуализированные стеклярусоподобными элементами, могут быть прототипами ювелирных украшений или элементов декора текстильных изделий [5]. Так, можно создать авторскую коллекцию ювелирных изделий, которая не только наследует традиционную палитру, но и прекрасно передает красоту северной природы, сдержанный характер. Разработанная коллекция ювелирных украшений, окрашенных в палитру вологодской хохломы, показана на рис. 3.

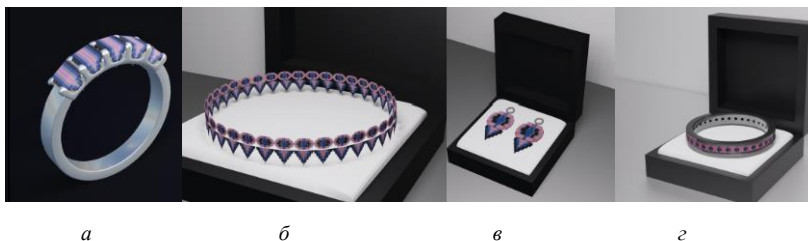


Рис. 3. Коллекция ювелирных изделий: *а* – кольцо, *б*, *г* – браслеты, *в* – серьги

Цилиндрические (стеклярусоподобные) элементы с каждым годом становятся все более популярными элементами не только в вопросах рукоделия, но и в вопросах создания городских объектов [6]. Помимо ювелирных украшений, можно создать городские инсталляции также в стилистике выбранной традиционной росписи.

Были разработаны авторские решения для городских арт-объектов, которые представляют собой непрерывное и увлекательное путешествие в мир творчества и удивительных технологий. За основу брались 3D-объекты, разработанные на втором этапе работы. Модели городских инсталляций, реализованные в 3D-среде и колорированные в палитру вологодской хохломы, представлены на рис. 4 – модель беседки (рис. 4, *а*) и модель стульев (рис. 4, *б*).

Применение информационных технологий и компьютерного дизайна в сочетании с колористикой вологодской хохломы способствует созданию уникальных объектов современного дизайна, которые вдохновляют, обогащают и могут привлекать не только местных жителей, но и туристов. Получение новых колористических решений на основе традиционной русской росписи – перспективное направление. Предла-



гаемый метод поддерживается средствами автоматизации и обеспечивает возможность сохранения и развития традиционных цветовых решений [7]. Одним из основных достоинств традиционной росписи в современных дизайн-решениях является уникальность и оригинальность. Каждая созданная в 3D-пространстве деталь является авторским решением со своей неповторимой комбинацией цветов в стилистике выбранной росписи.



*a*

*б*

Рис. 4. Беседка (*a*); городской арт-объект в виде стула (*б*)

Сочетание стиля вологодской хохломы и инновационных решений позволяет открыть новые горизонты и создать авторские оригинальные решения, такие как ювелирные изделия, городские арт-объекты и др.

Авторские оригинальные решения являются глубоким иллюстрированным воплощением культурного наследия России. Они преподносят не только красоту, но и живое напоминание о значении и развитии искусства в нашем мире.

### **Библиографический список**

1. Новикова П.А., Борзунов Г.И. Русские традиционные узоры как неисчерпаемый источник сохранения культуры и развития современного искусства // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: электрон. сб. докл. [Электронный ресурс]: Белгород: БГТУ, 2022. – Ч. 19. – С. 38–43.

2. Новикова П.А., Борзунов Г.И. Использование традиционных цветовых решений росписи «гжель» в современных дизайн-проектах // Всероссийская научная конференция молодых исследователей с международным участием «Социальногуманитарные проблемы образования и профессиональной самореализации» (Социальный инженер-2022): сб. материалов. Ч. 10. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. – С. 35–39.

3. Крамской С.В., Новикова П.А., Борзунов Г.И. Использование современных компьютерных технологий при создании узоров с использованием колористики хохломы // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сб. материалов всерос. науч. конф. молодых исследователей с междунар. участием. Ч. 4. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. – С. 200–205.

4. Новикова П.А., Борзунов Г.И. Использование стеклярусоподобных элементов в орнаментальных композициях с помощью компьютерных технологий // Всероссийский круглый стол с международным участием «Современные тенденции компьютерного проектирования орнамента»: сб. материалов. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. – С. 141–145.

5. Борзунов Г.И., Новикова П.А., Салькова Т.А. Автоматизация создания новых мотивов и композиций из геометрических примитивов с использованием стеклярусоподобных элементов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2022): сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. – С. 216–220.

6. Новикова П.А., Борзунов Г.И. Многовариантные колористические решения дизайн-проектов из цилиндрических элементов // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сб. материалов Всерос. науч. конф. молодых исследователей с международным участием. Ч. 3. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. – С. 257–261.

7. Борзунов Г.И., Новикова П.А., Крамской С.В. Использование традиционных цветовых решений росписи «хохлома» в современных дизайн-проектах // Инновационные технологии: теория, инструменты и практика: материалы XIV Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов, студентов (14 ноября – 31 декабря 2022 г.). – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023. – С. 122–130.

### Сведения об авторах

**Борзунов Георгий Иванович** – доктор технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и компьютерный дизайн» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: pargroc@gmail.com

**Новикова Полина Александровна** – преподаватель кафедры «Информационные технологии и компьютерный дизайн» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: novpol@inbox.ru

**Прохорова Екатерина Алексеевна** – бакалавр кафедры «Информационные технологии и компьютерный дизайн» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина, г. Москва, e-mail: prohor-1811@bk.ru

**А.В. Жильников, И.Р. Мардгалимов,  
А.А. Красильников, В.А. Осанов**

Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики, Самара

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ**

Рассматривается программное обеспечение, разработанное для статистической и аналитической обработки данных. Актуальность данной тематики обусловлена необходимостью в разработке отечественного программного продукта обработки данных и их анализа для выполнения различного рода задач. Представлена архитектура и инструментарий разработки программы, описан текущий функционал, реализованные на данный момент методы работы с данными. продемонстрировано работа разработки на случайных данных и проверена точность результата.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, статистика, анализ, данные, математические методы.

**A.V. Zhilnikov, I.R. Mardgalimov,  
A.A. Krasilnikov, V.A. Osanov**

Volga Region State University of Telecommunications  
and Informatics, Samara

## **SOFTWARE DEVELOPMENT FOR STATISTICAL DATA ANALYSIS**

The paper considers software developed for statistical and analytical data processing. The relevance of this topic is due to the need to develop a domestic software product for data processing and analysis to perform various tasks. The architecture and tools of the program development are presented, the current functionality and currently implemented methods of working with data are described. The work of the development on random data is demonstrated and the accuracy of the result is verified.

**Keywords:** software, statistics, analysis, data, mathematical methods.

Актуальность и значимость программ для аналитической и статистической обработки данных давно доказана. Подобные программы являются важным инструментом работы с данными как для специали-

стов, так и для обычных пользователей. Развитие цифровых технологий приводит к постоянному экспоненциальному росту информации, в частности цифровой. Согласно исследованию и прогнозам IDC объем данных в мире к 2025 г. увеличиться до 175 зеттабайт, что подчеркивает необходимость создания инновационных инструментов для обработки и анализа этого объема информации [1]. Это также свидетельствует о потребности в эффективных инструментах анализа и обработки данных. При этом наличие отечественного статистического программного обеспечения (ПО) для работы с данными становится актуальной и востребованной задачей.

Рассматриваемое в данной работе ПО было разработано и предназначено для анализа, управления, обработки данных, их визуализации с использованием статистических и аналитических методов.

Перед началом разработки было выполнен анализ ближайших аналогов подобного ПО, которыми являются на данный момент Excel, разработанный компанией Microsoft, и STATISTICA, разработанная компанией StatSoft. Были определены основные достоинства и недостатки этих программных пакетов, на основе чего был определен первоначальный и основной функционал разработки, который включает в себя следующий набор [2]:

- табличное представление данных с возможностью выполнения форматирования;
- анализаторы данных – однофакторный дисперсионный анализ, корреляционный анализ, регрессионный анализ;
- статистические тесты – двухсторонний t-тест, двухсторонний f-тест, тест хи-квадрат;
- описательная статистика – расчет средних выборочных значений, расчет таблицы частот, построение графика выборочной функции распределения и гистограммы частот.

Архитектуру ПО можно разбить на три ключевых блока:

- графический интерфейс;
- основной функционал статистики, описанный ранее;
- оптимизация.

Инструментарий разработки представляет собой язык программирования Python с необходимым набором библиотек, таких как `scipy`, `numpy`, `matplotlib` [3]. Данный набор позволяет качественно реализовать как фундаментальный, так и более продвинутый функционал

приложения. Частично код переработан на язык программирования C++ для повышения скорости работы ПО. Для написания графического интерфейса используется фреймворк Qt, написанный на C и имеющий интеграцию с Python за счет библиотеки PyQt [4].

Инструментальная схема разработки представлена на рис. 1 [5].

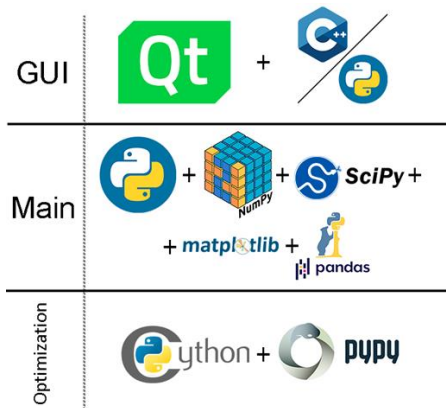


Рис. 1. Инструментальная схема ПО

На данный момент реализована поддержка расширений формата .xlsx и .csv для импорта и экспорта. Это необходимое решение для первоначального этапа в работе ПО.

Планируется реализация собственного расширения как читаемых, так и создаваемых файлов наподобие STATISTICA Report File и расширений, предлагаемых Excel.

Работу методов рассматриваемого ПО на примере работы с описательной статистикой можно увидеть на рис. 2. В качестве исходных данных для обработки взят случайно сгенерированный массив 10 на 10.

Для проверки точности полученных результатов был проведен сравнительный анализ с аналогом, пакетом анализа данных в Excel. Итоги вычислений представлены на рис. 3.

Для удобства сравнения результаты работы прилагаемого ПО сохранены в .xlsx файл, а результат работы модуля Excel выделен красным. На основе визуального сравнения результатов можно убедиться в точности полученных результатов разработки.

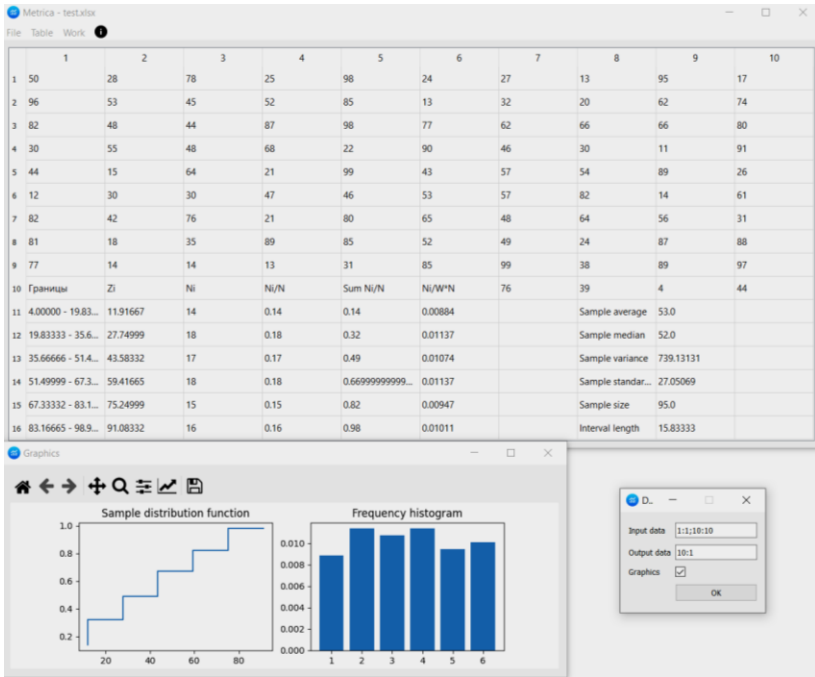


Рис. 2. Пример работы с описательной статистикой

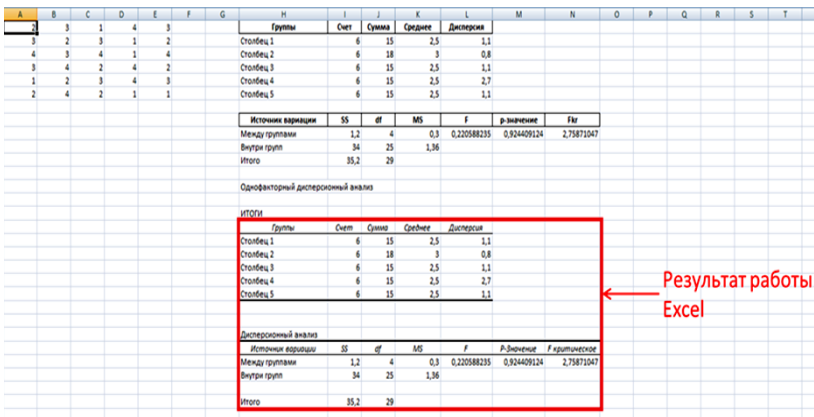


Рис. 3. Сравнение результатов работы программ

В ближайшее время имеющиеся статистические методы будут доработаны следующим образом:

- анализаторы – ковариационный анализ, анализ Фурье;
- статистические тесты – Z-тест;
- графика – двумерные и трехмерные графики, гистограммы, диаграммы, матричные и категоризованные графики.

В дополнение к имеющимся методам планируется разработка следующего набора инструментов:

- экспоненциальное сглаживание;
- работа с временными рядами;
- построение углубленных линейных и нелинейных моделей;
- управление качеством данных;
- методы нейросетевых исследований;
- мониторинг процессов.

Конечным результатом разработки является модульное ПО с многофункциональным набором инструментов статистического анализа. Дальнейшее развитие проекта предполагает его использование в качестве фундамента бизнес-аналитической системы с поддержкой принятия решений [6].

### **Библиографический список**

1. 175 Zettabytes By 2025 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.forbes.com/sites/tomcoughlin/2018/11/27/175-zettabytes-by-2025/?sh=1cf209954597> (дата обращения: 10.12.2023).

2. Жильников А.В., Осанов В.А. Разработка программного пакета для статистического анализа // 62-я студ. науч. конф. ПГУТИ: тр. конф. – Самара, 2023. – С. 195–196.

3. Документация Python [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.python.org> (дата обращения: 10.12.2023).

4. Документация Qt [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.qt.io/> (дата обращения: 10.12.2023).

5. Жильников А.В., Осанов В.А. Перспективы применения интеллектуальной системы по поддержке принятия решений и VI-системы в качестве единого программного обеспечения // IX Междунар. науч.-практ. оч.-заоч. конф. «Проблемы и перспективы внедрения инновационных телекоммуникационных технологий»: тр. конф. – Оренбург, 2023. – С. 342–359.



6. Жильников А.В., Осанов В.А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений как инструмент автоматизации в сфере бизнес-аналитики // XVII Междунар. отраслевая науч.-техн. конф. «Технологии информационного общества»: тр. конф. – М., 2023. – С. 261–263.

### **Сведения об авторах**

**Жильников Александр Владимирович** – студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, гр. МОИС-01, г. Самара, e-mail: og.alexander.saint@gmail.com

**Мардгалимов Ильдар Раильевич** – студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, гр. МОИС-01, г. Самара, e-mail: silwercold@gmail.com

**Красильников Александр Александрович** – студент Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, гр. МОИС-01, г. Самара, e-mail: jvmaster55@gmail.com

**Осанов Владимир Андреевич** – старший преподаватель кафедры «Управление в технических системах» Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, e-mail: v.osanov@psuti.ru

**О.А. Глухова, С.А. Сторожев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМ РОБОТОМ**

Рассматривается разработка прототипа системы управления мобильным роботом, оснащенный цифровыми датчиками линии. Датчики позволяют роботу двигаться по линии и распознавать перекрестки. В ходе работы использовались такие методы исследования, как анализ и моделирование.

**Ключевые слова:** мобильный робот, движение по линии, распознавание перекрестков, датчик линии, управление роботом.

**O.A. Glukhova, S.A. Storozhev**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **WAREHOUSE ROBOT CONTROL SYSTEM PROTOTYPE DEVELOPMENT**

This article discusses a control system prototype development for a mobile robot equipped with digital line sensors. Sensors allow the robot to move along the line and recognize intersections. In the course of the work, such research methods as analysis and modeling were used.

**Keywords:** mobile robot, line movement, intersection recognition, line sensor, robot control.

Основной проблемой мобильных роботов, перемещающихся самостоятельно, без управления со стороны человека, остается навигация. Для успешной навигации в пространстве бортовая система робота должна уметь строить маршрут, управлять параметрами движения (задавать угол поворота колес и скорость их вращения), правильно интерпретировать сведения об окружающем мире, получаемые от датчиков, и постоянно отслеживать собственные координаты. Упростить навигацию роботов, следовательно, и их стоимость, возможно, если заранее задать маршрут, исключая встречу с препятствием. Данную навигационную систему можно реализовать с помощью линии, находящейся на плоскости, по которой перемещается робот [1, 2].

**Конструкция робота.** Рассмотрим конструкцию робота. Он имеет одно поворотное колесо и два ведущих колеса, которые приводятся в движение с помощью двигателей. Радиус каждого колеса – 0,0325 м. Расстояние между колесами – 0,13 м.

Робот имеет четыре датчика линии. Два предназначены для движения вдоль линии, а два других – для определения перекрестков. Датчики, с помощью которых осуществляется движение вдоль линии, смещены вперед на 0,01 м относительно оси колес и в стороны (один – вправо, другой – влево) на 0,01 м от оси симметрии робота.

Датчики, с помощью которых осуществляется распознавание перекрестков, смещены на 0,02 м вперед и на 0,03 м в стороны от оси симметрии робота. Схема расположения датчиков представлена на рис. 1, 3D-модель робота на рис. 2.

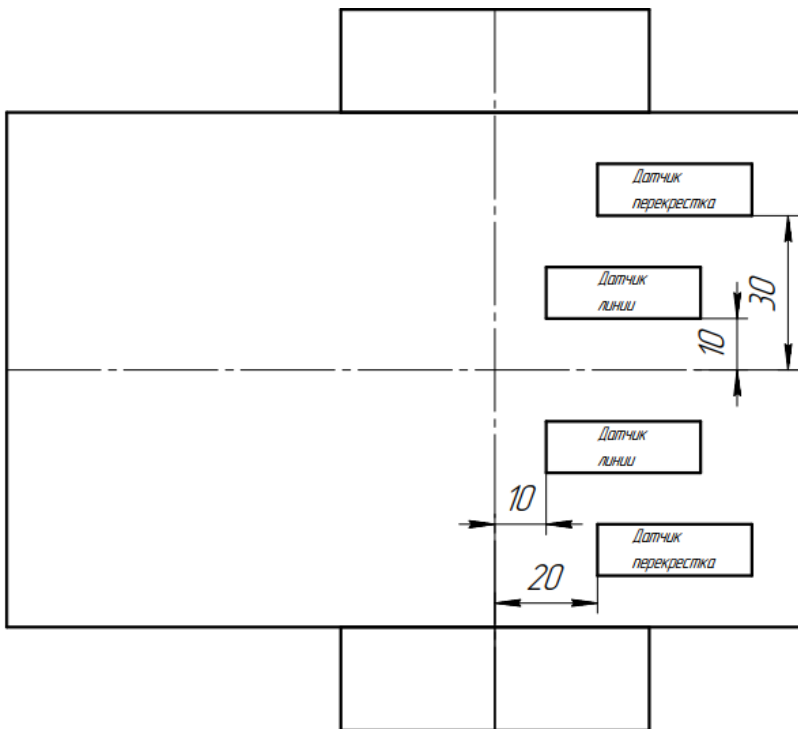


Рис. 1. Схема расположения датчиков

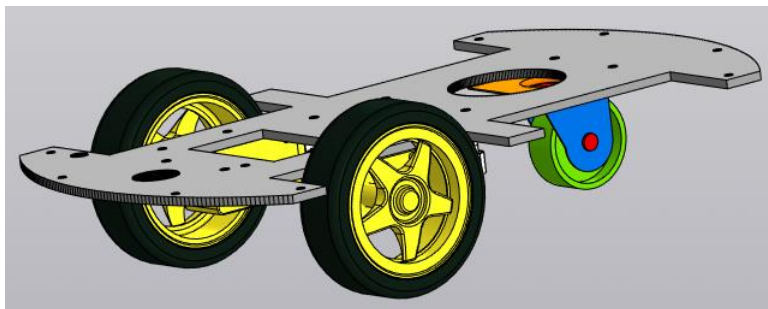


Рис. 2. 3D-модель

**Расчет скоростей колес.** Скорость каждого колеса имеет две составляющие. Первая – линейная скорость  $v$  – одинаковая у обоих колес, позволяет роботу двигаться прямо. Вторая – угловая скорость  $\omega$  – позволяет корректировать траекторию при движении по линии. Угловая скорость рассчитывается в зависимости от показаний датчиков. Вычисляется разность между показаниями левого и правого датчиков линии, далее она корректируется пропорциональным регулятором. Структурная схема системы вычисления угловой составляющей скорости представлена на рис. 3.

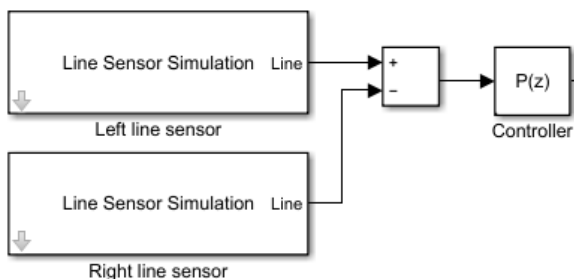


Рис. 3. Структурная схема системы вычисления линейной и угловой составляющих скорости

После заданная скорость  $v$  и рассчитанная скорость  $\omega$  поступают в блок расчета угловых скоростей правого и левого колес. При повороте скорость левого колеса рассчитывается по формуле (1), правого – по формуле (2), где  $axleLength$  – расстояние между колесами робота, а  $wheelR$  – радиус колес.

$$\omega l = \frac{(v - \omega \frac{axleLength}{2})}{3 \cdot wheelR}, \quad (1)$$

$$\omega l = \frac{(v + \omega \frac{axleLength}{2})}{3 \cdot wheelR}. \quad (2)$$

Структурная схема блока расчета угловых скоростей правого и левого колес представлена на рис. 4.

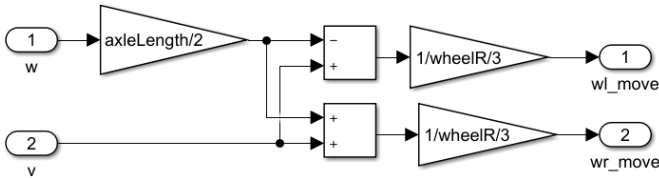


Рис. 4. Структурная схема блока расчета скоростей колес

**Распознавание перекрестков.** Полученные скорости и показания датчиков перекрестка поступают в блок определения перекрестков. Если левый или правый датчик перекрестка фиксируют линию, перпендикулярную траектории движения робота, то он становится. Далее, если роботу требуется повернуть, выполняется поворот. Если поворот не требуется, робот продолжает движение прямо. На рис. 5 приведена структурная схема системы распознавания перекрестков. При повороте робота на перекрестке налево выполняется алгоритм, представленный блок-схемой на рис. 6, а. По завершении поворота робот продолжает движение вдоль линии.

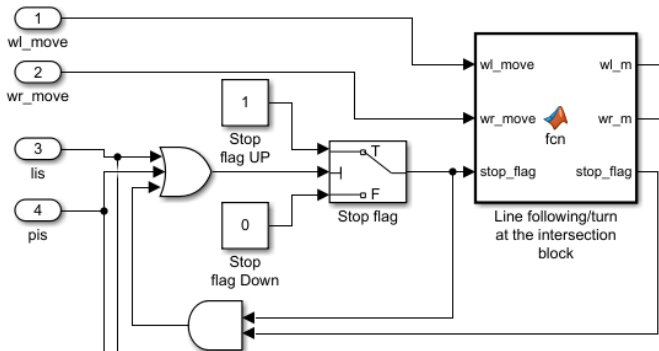


Рис. 5. Структурная схема системы распознавания перекрестка

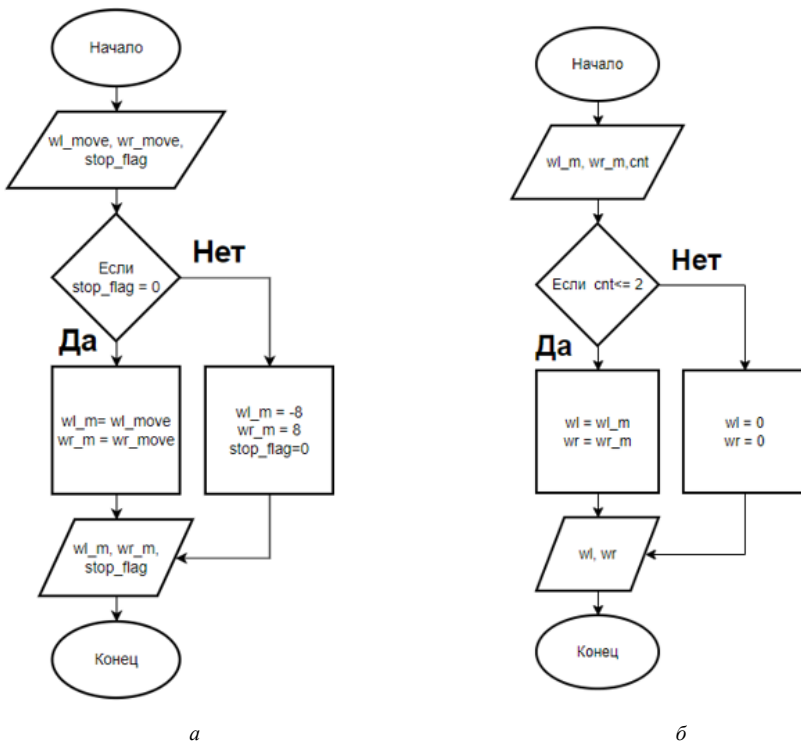


Рис. 6. Блок-схемы алгоритмов

**Идентификация перекрестков.** Робот ведет подсчет пройденных перекрестков для их идентификации. Если оба датчика перекрестка одновременно фиксируют линию, то счетчик перекрестков увеличивает свое значение. Структурная схема системы подсчета перекрестков приведена на рис. 7.

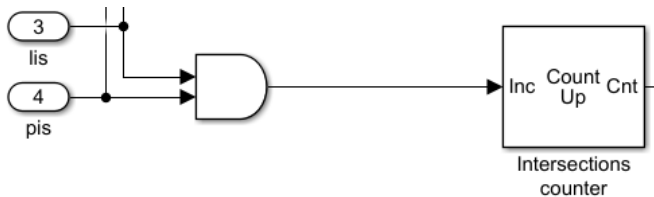


Рис. 7. Структурная схема системы подсчета перекрестков

Начальная и конечная точки маршрута робота тоже представляют собой перекрестки. Таким образом, получается, что робот ездит по графу, вершинами которого являются перекрестки, а ребрами – соединяющие их линии. Пройдя нужное количество перекрестков, робот останавливается. Алгоритм остановки находится в блоке определения точки назначения. Блок-схема алгоритма остановки на третьем перекрестке представлена на рис. 6, б. Структурная схема блока определения перекрестков приведена на рис. 8.

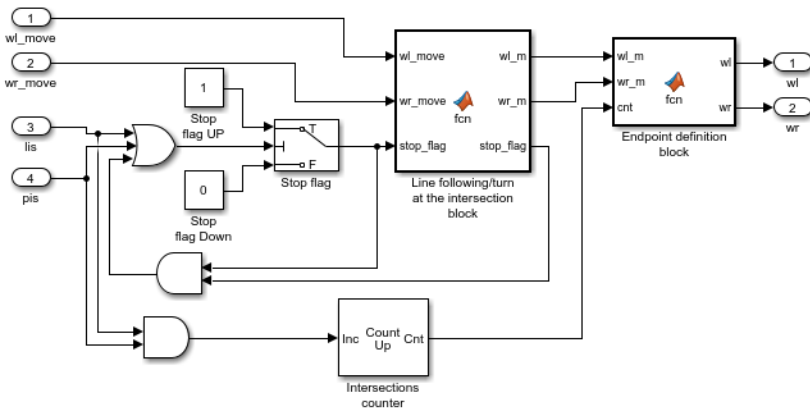


Рис. 8. Структурная схема блока определения перекрестков

**Результаты моделирования.** Моделирование выполнялось в пакете прикладных программ MatLab в среде моделирования Simulink с помощью Mobile robotics training toolbox [3].

Структурная схема модели приведена на рис. 9.

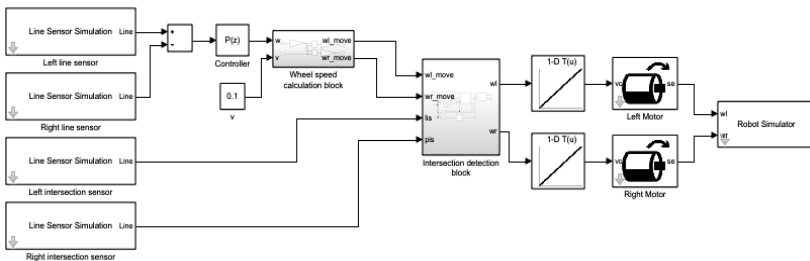


Рис. 9. Структурная схема модели

Результаты моделирования представлены на рис. 10. Роботу было необходимо доехать из точки А в точку В. Для этого ему нужно было проехать два перекрестка, повернув налево на каждом, и остановиться на третьем.

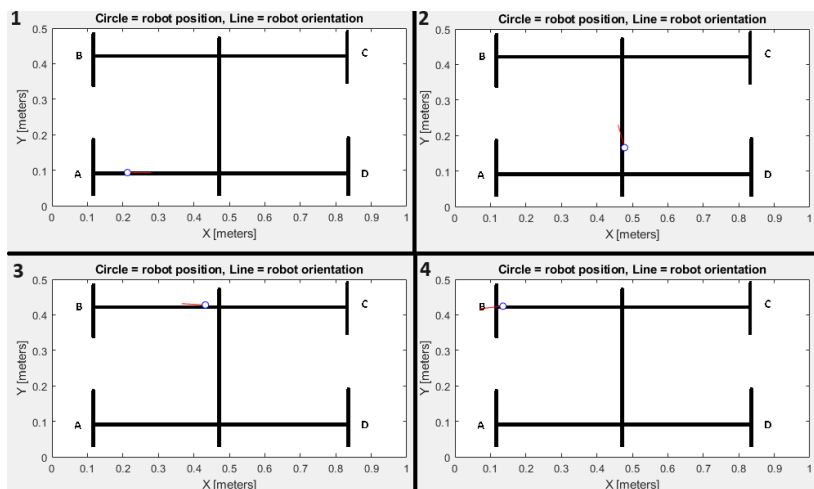


Рис. 10. Результат моделирования

Далее планируется разработать макет робота и доработать систему управления так, чтобы при получении идентификатора конечной точки он сам определял, на каком перекрестке и какую команду (проехать прямо, повернуть направо/налево, остановиться) выполнить.

### Библиографический список

1. Литвин А.В. Алгоритмы движения робота Lego Mindstorms NXT по черной линии с использованием пропорционально-дифференциального регулятора // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2011. – № 3. – С. 91–94.
2. Рыбин И.А., Вакуленко И.Р. Разработка системы управления движением мобильного робота по заданной контрастной линии // Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – Т. 10. – С. 100–103.



3. Mobile robotics training toolbox [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66586-mobile-robotics-simulation-toolbox> (дата обращения: 20.12.2023).

### **Сведения об авторах**

**Глухова Ольга Андреевна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. СРПС-20-16, г. Пермь, e-mail: [ogluk02@mail.ru](mailto:ogluk02@mail.ru)

**Сторожев Сергей Александрович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [sastorozhev@pstu.ru](mailto:sastorozhev@pstu.ru)

**Л.В. Баракаева, Д.М. Шакирова**

Казанский государственный энергетический  
университет, Казань

**ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
В УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ,  
ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Современные технологии стремительно проникают во все сферы человеческой жизни, и искусственный интеллект не является исключением. В данной научной статье рассматривается вопрос интеграции искусственного интеллекта в управленческие решения. Оценивается эффективность использования искусственного интеллекта, анализируются текущие тенденции и выявляются перспективы развития этого направления.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, управленческие решения, эффективность, тенденции, перспективы.

**L.V. Barakaeva, D.M. Shakirova**

Kazan State Energy University, Kazan

**INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
INTO MANAGEMENT DECISIONS: EFFICIENCY,  
TRENDS, AND PROSPECTS**

Modern technologies are rapidly infiltrating all spheres of human life, and artificial intelligence is no exception. This scientific article discusses the integration of artificial intelligence into management decisions. It assesses the effectiveness of using artificial intelligence, analyzes current trends, and identifies the prospects for the development of this field.

**Keywords:** artificial intelligence, management decisions, efficiency, trends, prospects.

Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в различные сферы бизнеса и управления раскрывает значительный потенциал для повышения эффективности процессов принятия решений. Данное исследование фокусируется на анализе применения ИИ в управленческих об-

ластях, оценке результатов и их обсуждении в контексте современных тенденций.

Для проведения исследования был использован комплекс методов, включая анализ успешных кейсов интеграции ИИ в управленческие системы и сравнительную оценку эффективности решений с использованием ИИ по сравнению с традиционными методами управления. Материалы и данные были получены из открытых источников, а также на основе опыта компаний, успешно внедривших ИИ в свои управленческие практики.

Актуальность исследования по интеграции искусственного интеллекта в управленческие решения неоспорима в современном быстро меняющемся бизнес-контексте. В условиях постоянных технологических инноваций и усиленной конкуренции предприятий внедрение ИИ в управленческие процессы обещает не только повышение эффективности, но и способствует принятию более обоснованных и стратегически ориентированных решений. Расширение сферы применения ИИ в бизнесе создает уникальные возможности для оптимизации операций, прогнозирования трендов и поддержки принятия решений на основе данных, что делает данную тему актуальной для исследований и практического внедрения в широкий спектр организаций.

В современной деловой среде, где динамичность и сложность процессов требуют точных и оперативных решений, интеграция искусственного интеллекта в управленческие системы становится ключевым фактором для повышения эффективности и конкурентоспособности организаций. Согласно отчету *McKinsey*, более 50 % компаний, успешно внедривших ИИ в управленческие процессы, отмечают улучшение операционной эффективности на 20 % и более [1]. Это свидетельствует о том, что использование ИИ не только оптимизирует рутинные задачи, но также приносит существенные улучшения в стратегическое планирование и принятие решений.

Анализируя текущие тенденции, можно выделить важность автоматизации решений в реальном времени. Согласно исследованию *IDC*, более 45% предприятий считают, что использование ИИ улучшает их способность принимать решения в режиме реального времени [2]. Этот аспект особенно значим в сферах, где оперативность реакции на изменяющиеся условия рынка является критически важной составляющей успешного управления.

Одним из ключевых результатов исследования становится подтверждение того, что ИИ способен не только оптимизировать текущие бизнес-процессы, но и предсказывать будущие тенденции. Данные изучения *Gartner* указывают на то, что более 60 % компаний, использующих ИИ в управлении, отмечают более точные и надежные прогнозы (рисунок), что, в свою очередь, позволяет им более эффективно адаптироваться к изменениям внешней среды [3].

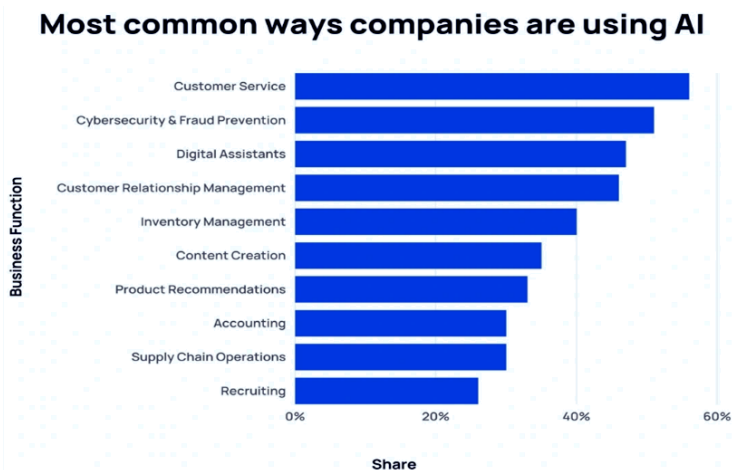


Рис. Основные пути применения ИИ в работе компаний

Искусственный интеллект становится ключевым инструментом, трансформирующим процессы управленческого решения. Одним из важных аспектов применения ИИ является автоматизация аналитических процессов. Алгоритмы машинного обучения способны обрабатывать огромные объемы данных, выявляя закономерности и предоставляя руководителям глубокие и информативные аналитические выводы. Например, системы прогнозирования на основе ИИ способны анализировать исторические данные, учитывать текущие тенденции рынка и предоставлять точные прогнозы, что помогает в принятии обоснованных стратегических решений [4].

Второй важный аспект – это автоматизация рутинных задач. ИИ способен выполнять множество повседневных операций, таких как обработка документов, мониторинг финансовых показателей или

управление запасами. Это освобождает руководителей от монотонных обязанностей, позволяя им сконцентрироваться на стратегических аспектах управления.

Также стоит отметить, что искусственный интеллект активно используется для оптимизации процессов принятия решений в условиях неопределенности. Системы, использующие алгоритмы машинного обучения, могут адаптироваться к изменяющейся среде, анализировать большие объемы информации и предоставлять альтернативные сценарии развития событий [5]. Это предоставляет руководителям более широкий спектр данных для обоснованного выбора стратегий в динамичном бизнес-пространстве.

Однако, несмотря на все преимущества, важно отметить, что успешное использование ИИ для управленческих решений требует грамотной интеграции технологии в существующие бизнес-процессы и внимательного контроля со стороны руководства. Эффективное внедрение включает в себя обучение персонала, разработку четких алгоритмов работы и постоянный мониторинг результатов для коррекции стратегий в реальном времени [6].

Итоги анализа эффективности интеграции искусственного интеллекта в управленческие решения подчеркивают, что данная технология обладает значительным потенциалом для улучшения процессов принятия решений в современном бизнесе. Автоматизация аналитических задач, оптимизация рутинных операций и способность адаптироваться к изменяющимся условиям создают благоприятные предпосылки для более точного и оперативного управления. Результаты исследования свидетельствуют о том, что компании, успешно внедрившие ИИ в управленческие практики, не только повышают свою конкурентоспособность, но и выходят вперед в стратегическом планировании и адаптации к изменениям в бизнес-среде.

Таким образом, на основе анализа эффективности интеграции искусственного интеллекта в управленческие решения можно заключить, что это не просто технологическое обновление, а ключевой элемент эволюции современного управления. Переход к более интеллектуальным и автоматизированным системам принятия решений становится необходимостью для компаний, стремящихся к устойчивому развитию. Однако успех внедрения ИИ требует не только технической компетенции, но и гибкости в организационной культуре. Будущее управ-

ления тесно связано с динамичным развитием искусственного интеллекта, и компании, осмеливающиеся воспользоваться его потенциалом, выходят на передовые позиции в мире современного бизнеса.

### Библиографический список

1. Ближникова А.В., Йинг Д.К. Использование искусственного интеллекта в процессах управления человеческими ресурсами // Вестник ГУУ. – 2020. – № 7. – С. 14–21. DOI: 10.26425/1816-4277-2020-7-14-21

2. Воробьева И.В., Салахутдинов В.Д. Проблемы правового регулирования искусственного интеллекта // Наука и образование: будущее и цели устойчивого развития: материалы XVI Междунар. науч. конф.: в 4 ч. – М.: Изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2020. – Ч. 4. – С. 65–75.

3. Воробьева И.В., Салахутдинов В.Д. Проблемы правового регулирования искусственного интеллекта // Наука и образование: будущее и цели устойчивого развития: материалы XVI Междунар. науч. конф.: в 4 ч. – М.: Изд-во ЧОУВО «МУ им. С.Ю. Витте», 2020. – Ч. 4. – С. 65–75.

4. Джураев Д.Ш. Искусственный интеллект в менеджменте // Интернаука. – 2021. – № 25-1. – С. 80–82.

5. Устинова О.Е. Искусственный интеллект в менеджменте компаний // Креативная экономика. – 2020. – Т. 14, № 5. – С. 885–904. DOI: 10.18334/ce.14.5.102145

6. Женщины-ученые в структуре региональной научной элиты: накопленный опыт и перспективы исследования // Управление устойчивым развитием. – 2020. – №3 (28). – С. 64–69.

### Сведения об авторах

**Баракаева Лия Вячеславовна** – студентка кафедры «Экономика и организация производства» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, e-mail: leahbarakaeva@gmail.com

**Шакирова Динара Марселевна** – кандидат социологических наук, доцент кафедры «Экономика и организация производства» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, e-mail: dinara.mm@yandex.ru

**Р.Ф. Бабаев, М.А. Пасхин**

Костромской государственной университет, Кострома

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ**

Рассматривается возможность применения некоторых нейросетевых моделей для задач обработки текстовых отзывов с целью выделения из них ключевых фраз. Описывается подход к формированию и предобработке датасета для анализа отзывов пользователей и приводятся результаты работы моделей на сформированной выборке.

**Ключевые слова:** анализ текста, нейронные сети, обработка естественного языка, объекты недвижимости.

**R.F. Babaev, M.A. Pashkin**

Kostroma State University, Kostroma

## **THE USE OF NEURAL NETWORK MODELS TO DETERMINE THE CHARACTERISTICS OF REAL ESTATE**

The article considers the possibility of using some neural network models for the tasks of processing text reviews in order to isolate key phrases from them. An approach to the formation and preprocessing of a dataset for analyzing user feedback is described and the results of the models' work on the generated sample are presented.

**Keywords:** text analysis, neural networks, natural language processing, real estate objects.

С развитием современных технологий и Интернета объем информации, доступной для использования, многократно увеличился. Возрастающий информационный поток требует эффективных инструментов для анализа и структурирования текстов. Одним из ключевых направлений в этом контексте является автоматическое извлечение ключевых слов из текстов различной направленности с помощью нейросетевых моделей, решающих задачи обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP). Подобные методы могут использоваться для анализа клиентских отзывов по различным объектам и процессам. При разработке системы оценки объектов недвижимости одной из задач

является выделение характеристик жилищных застроек посредством анализа отзывов из доступных интернет-ресурсов.

Решение этой задачи состоит из следующих этапов:

- 1) парсинг текстов из доступных интернет-ресурсов;
- 2) предобработка текстовых данных;
- 3) формирование датасета для NLP-моделей;
- 4) выявление ключевых слов посредством нейросетевых моделей.

В качестве инструмента для парсинга выбрано расширение для браузера Web Scraper – Free Web Scrapping. В результате парсинга сформирована таблица с записями по отзывам пользователей интернет-ресурсов. Фрагмент таблицы представлен на рис. 1.

	A	B	C	D
1	Новостройки	Автор отзыва	Отзыв	
2	По ул. Соловьиная	Любовь Чистякова	Продавцы вежливые внимательные. П	
3	По ул. Соловьиная	Инкогнито 9678	Очень спокойный и тихий район	
4	По ул. Соловьиная	Любовь Янченко	Неплохие квартиры, хорошие большие	
5	По ул. Соловьиная	Rachel Лебедев	Место классное. Дома новые, лифты в	
6	По ул. Соловьиная	Юлия Черменева	Стоит жудкий запах канализации!!! С	
7	По ул. Соловьиная	161575 С.	живу в соседнем доме, а в этом подру,	
8	По ул. Соловьиная	Алексей Трушкин	Хорошие дома я очень рад что мои 9га	
9	По ул. Соловьиная	Кирилл Бударяцев	топ я тут живу	
10	По ул. Соловьиная	Юлия	Парковок нет, от слова совсем (((((	
11	По ул. Соловьиная	Андрей У.	Мало парковочных мест, очень сложнос	
12	По ул. Соловьиная	Сергей Колпаков	Район не плохой, но все время холодн	
13	По ул. Соловьиная	Марина В.	Задержали сроки сдачи. По качеству в	
14	По ул. Соловьиная	FRENIS	Не звезда , все остальное супер	
15	По ул. Соловьиная	Алексей Козлов	Тихое место, инфраструктура появляе	
16	По ул. Соловьиная	Дмитрий Смирнов	Очень хорошая местность, жить тольк	
17	По ул. Соловьиная	Елена Матвеевна Бишева	Нет уличного освещения и остановки д	
18	По ул. Соловьиная	Оксана М.	Ужасная дорога к этим домам. Дворы	
19	По ул. Соловьиная	Андрей С.	Я здесь живу, всё отлично!	
20	По ул. Соловьиная	Андрей Смирнов	Отличный дом, я в нем живу.	
21	По ул. Соловьиная	Светлана Б.	Обычный многоквартирный дом. Очен	
22	По ул. Соловьиная	Анонимный отзыв	Хороший тихий район	
23	По ул. Соловьиная	Евгений Ивков	Новый дом! Всё хорошо	
24	На ул. Шагова, 68	Ростислав Смирнов	3 балла, так как местность у дома не ч	
25	На ул. Шагова, 68	Анна Кузнецова	Хорошее, качественное качественное.	
26	На ул. Шагова, 68	Кирилл Шарфутдинов	Красивый малоквартирный дом, удобн	
27	На ул. Шагова, 68	Александр Шура	Людьяи нужно быть и	
28	На ул. Шагова, 68	Марго Орлова	попроще относится к людям	
29	На ул. Шагова, 68	Рокс Тих	Грязно очень.	
			Прикольно выглядит	

Рис. 1. Датасет после парсинга

Основные действия по предобработке текстовых данных включают:

- преобразование всего текста к нижнему регистру;
- удаление знаков пунктуации;
- очистка входных предложений от стоп-слов;
- лемматизация текста.

Предобработка текста выполнялась инструментами библиотеки nltk.corpus и модуля stopwords. В результате сформирован датасет для последующего анализа и выделения ключевых слов из текстовых фрагментов. Обработка датасета осуществлялась NLP-моделями. Для выделения ключевых слов использовались модели RuTermExtractor, Yake, Rake, BERT. Анализ результатов работы моделей в облачной



среде Google Colab позволил выявить их преимущества и недостатки для решения задачи выделения характеристик жилищных объектов из текстовых отзывов интернет-источников.

Модель RuTermExtractor – это инструмент, разработанный для русскоязычных текстов и предназначенный для извлечения ключевых терминов. Модель показала неплохие результаты для задачи Keywords Extractions на коротких отзывах. Пример выделенных ключевых слов показан на рис. 2.

Отзывы очищенные	Cluster	Словосочетания по частоте (Русский)
продавцы вежливые внимательные продукты всегда свежие очень дорогое сливочное масло	1	свежие дорогое сливочное масло, вежливые внимательные продукты, продавцы, всегда
очень спокойный тихий район	1	спокойный тихий район
неплохие квартиры хорошие большие лифты детская площадка большая парковка жильцы вежливые минус высокая слышимость квартирах рядом родник водой	1	хорошие большие лифты, детская площадка, высокая слышимость, большая парковка, родник, квартиры, жильцы

Рис. 2. Результаты RuTermExtractor на примитивной выборке отзывов

Однако RuTermExtractor имеет ряд недостатков, наиболее критичным из которых является частый пропуск в результате невозможности выявить ключевые слова. Также модель выделяет недостаточно вариаций ключевых фраз (обычно от 1 до 3), при этом возможна потеря смыслов. Пример подобной ситуации показан на рис. 3.

Отзывы очищенные	Cluster	Словосочетания по частоте (Русский)
отличный микрорайон проживания особенно семей детьми воздух чистый зелени дворах сделаны детские площадки вся инфраструктура шаговой доступности	1	отличный микрорайон проживания семей, инфраструктура, воздух

Рис. 3. Потеря контекста в результате обработки RuTermExtractor

Еще одной моделью для экспериментов стала YAKE (Yet Another Keyword Extractor) – многоязычный метод извлечения ключевых слов для отдельных документов, который можно использовать для текстов разного размера, доменов и языков [1].

Преимуществом модели YAKE в ходе обработки датасета является нахождение ключевых фраз в случаях сложного синтаксиса предложения. Из недостатков можно отметить то, что YAKE не всегда обеспечивает верную сортировку словосочетаний по степени важности.

На следующем этапе текстовые фрагменты обрабатывались с помощью модели RAKE (Rapid Automatic Keyword Extraction). RAKE – это алгоритм, разработанный для быстрого извлечения ключевых слов. Он основан на анализе частотности слов и разбиении текста на фразы. Модель RAKE эффективна в работе с текстами на различных языках и быстро обрабатывает большие объемы данных [1].

Результаты RAKE несколько схожи с RuTermExtractor: задача Keywords Extractions на коротких отзывах выполняется удовлетворительно. К плюсам также можно отнести верную сортировку словосочетаний по степени важности.

Характерные недостатки RAKE наблюдаются в случаях, когда модель не учитывает контекст употребления ключевых слов, а потому разделение ключевых фраз на элементы в списке может выполняться с искажением. Также нередки ситуации, когда найденные ключевые слова не собираются в словосочетания. На рис. 4 представлен пример некорректной работы RAKE.

#### Ключевые слова RAKE

купил, квартиру, районе,  
немного, далековато,  
пешком, ходить,  
магазинов, школ,  
садилов, остановок,  
хорошие, новые,  
детские, площадки,  
домом, лыжная, трасса

Рис. 4. Отсутствие разделения ключевых фраз в RAKE

Модель BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) – нейронная сеть, которая использует контекстуализированные векторные представления слов, способна улавливать сложные зависимости между словами и понимать их в контексте, что повышает точность и качество извлечения словосочетаний [2].

BERT отличается от рассматриваемых ранее моделей в части способности подбирать комбинацию из синонимов, находить большую вариацию ключевых фраз, как показано на рис. 5.

Отзывы очищенные	RuterExtractor	Ключевые слова BERT
очень спокойный тихий район	спокойный тихий район	очень спокойный, тихий спокойный, спокойный тихий, спокойный район, отличный современный, общественный транспорт, устаревшие технологии, очень симпатично, добрый спокойные, остальном красивый

Рис. 5. Подбор синонимов к ключевым фразам в BERT

BERT свойственно создание коллизии из неверных синонимов или похожих по стилистике ключевых словосочетаний, что является недостатком. Пример такой коллизии представлен на рис. 6.

Отзывы очищенные	RuterExtractor	Ключевые слова BERT
купил квартиру районе немного далековато пешком ходить магазинов школ садиков остановок хорошие новые детские площадки домом лыжная трасса	лыжная трасса, район, дом	качественных стройматериалов, достопримечательностью подкачали, большинства костромичей, благоустройству количеству, количеству парковочных, предоставляющая коммунальные, квартиру лесопарковой, наилучшие рекомендации, главной достопримечательностью, недочёты благоустройству

Рис. 6. Коллизия выделения ключевых фраз в BERT

В рамках предметной области, связанной с оценкой объектов недвижимости, по результатам тестирования рассмотренных NLP-

моделей хорошие результаты показали YAKE и BERT. YAKE целесообразно использовать как инструмент по выделению подходящих фраз, главных в тексте, а BERT – как нейронную сеть по выводу синонимичных словосочетаний, упрощающих поиски. Однако стоит учитывать, что результаты могут различаться в зависимости от предметной области и качества подготовленной выборки датасета.

### **Библиографический список**

1. Th. Skoghäll, Öhman D. Summarization and keyword extraction on customer feedback data. Comparing different unsupervised methods for extracting trends and insights from text, 2022 - Umeå, Sweden.

2. Unlocking the Potential of Keyword Extraction: The Need for Access to High-Quality Dataset / Zaira Hassan Amur, Yew Kwang Hooi, Gul Muhammad Soomro, Hina Bhanbhro, Said Karyem and Najamudin Sohu. – 2023. – Malaysia, Pakistan, Czech Republic.

### **Сведения об авторах**

**Бабаев Рашад Фаилович** – студент Костромского государственного университета, гр. 20-ИИбо-1, г. Кострома, e-mail: babaevrasad18@gmail.com

**Пасхин Михаил Алексеевич** – студент Костромского государственного университета, гр. 20-ИИбо-1, г. Кострома, e-mail: michalpoisonish@gmail.com

**В.В. Кашко, С.А. Олейникова**

Воронежский государственный технический университет, Воронеж

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ**

Рассматриваются методы обучения с подкреплением с точки зрения прикладной робототехники. Анализируются сильные и слабые стороны подходов применительно к реализации реальных систем, исследуется целесообразность их применения для управления роботами.

**Ключевые слова:** обучение с подкреплением, принятие решений в условиях неопределённости, робототехника, искусственный интеллект, управление.

**V.V. Kashko, S.A. Oleinikova**

Voronezh State Technical University, Voronezh

## **ANALYSIS OF REINFORCEMENT LEARNING METHODS FOR CONTROLLING ROBOTIC SYSTEMS**

This article discusses reinforcement learning methods from the point of view of applied robotics. The strengths and weaknesses of the approaches applied to the implementation of real systems are analyzed, and the expediency of their use for controlling robots is investigated.

**Keywords:** reinforcement learning, decision-making under uncertainty, robotics, artificial intelligence, management.

Человечество всегда задавалось вопросом создания интеллектуальных машин, способных взаимодействовать с окружающей средой, подобно биологическим организмам реагируя на изменения осмысленным образом. Множество писателей-фантастов, в том числе и чешский писатель Карел Чапек, введший термин «робот», описывали механизмы, способные коммуницировать с человеком «на равных» и осуществлять рутинные действия без участия посторонней помощи [1].

«Стимул – реакция» является основным типом взаимодействия, позволяющим накапливать опыт (*обучение*) под действием изменения окружающей среды (*состояние* – *S*) и формировать определённые формы поведения (*реакции / действия* – *A*) в ответ на эти изменения.

В результате реализации действия происходит преобразование окружения и генерация ответа окружающего пространства на эти действия (*вознаграждение* –  $R$ ), под влиянием которого *агент* (взаимодействующий) принимает решение о том, является ли данная реакция выгодной для него или же нет. Данный принцип лежит в основе *методов обучения с подкреплением* – мощного и перспективного подхода, широко применяемого в современной робототехнике и многих других областях применения методов искусственного интеллекта [2, 3].

**Марковские процессы принятия решений в методологии обучения с подкреплением.** Практически все методы обучения с подкреплением сводятся к *марковским процессам принятия решений (МППР)*, представляющим идеализированную форму *задачи обучения с подкреплением* [2, 3]. Вероятности возникновения каждого возможного состояния  $S_t$  и вознаграждения  $R_t$  зависят исключительно от предшествующего состояния и действия. Этот эффект называется *марковским свойством*.

Генерируемый средой сигнал вознаграждения представляет собой способ сообщения агенту цели, а не методов их достижения. Исходя из поставленной перед агентом задачи, выделяются *эпизодические*, которые имеют конечное число шагов, и *непрерывные* – продолжающиеся бесконечно во времени. Представление состояний и действий напрямую влияет на эффективность и на сегодняшний день является в большей степени искусством.

Если рассматривать роботизированную систему с точки зрения системного подхода, то можно выделить различные уровни организации, что, в свою очередь, формирует различие в уровнях и сложности управления [1, 4, 5]. Для низкоуровневых систем, например контроллера привода, при котором можно выделить конечное число состояний и действий, рационально применять *конечные марковские процессы*. На более высоком уровне, к примеру ориентации в пространстве, достаточно сложно, а зачастую невозможно определить все состояния. В этом случае прибегают к сведению бесконечного процесса к конечному марковскому, что облегчает математическое описание алгоритмов.

Методы обучения с подкреплением представляют изменение *стратегии* агента при принятии решений в результате накопления опыта. Стратегия представляет собой отображение состояний среды на вероятность выбора каждого возможного действия [2].

Основными характеристиками при описании систем «агент – среда» являются: доход и функция ценности состояния или действия в состоянии при данной стратегии. Рассмотрим эти характеристики более подробно.

**Доходом** является суммарное вознаграждение, которое получит роботизированная система при решении поставленной задачи. Для эпизодических задач функция дохода имеет вид:

$$G_t = R_{t+1} + R_{t+2} + \dots + R_T. \quad (1)$$

Для непрерывных задач применяется обесценивание:

$$G_t = R_{t+1} + \gamma R_{t+2} + \gamma^2 R_{t+3} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k R_{t+k+1}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент обесценивания.

**Функция ценности состояния  $s$  при стратегии  $\pi$**  – это ожидаемый доход, полученный в результате начала процесса принятия решений агентом из состояния  $s$  при следовании стратегии  $\pi$ . Она может быть определена с помощью формулы:

$$v_{\pi} = M[\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k R_{t+k+1} | S_t = S]. \quad (3)$$

**Функция ценности выполнения действия  $a$  в состоянии  $s$  при стратегии  $\pi$**  – ожидаемый доход, полученный в результате начала процесса принятия решений агентом с действия  $a$  из состояния  $s$  при следовании стратегии  $\pi$ .

$$q_{\pi} = M[\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k R_{t+k+1} | S_t = s, A_t = a]. \quad (4)$$

Решение задачи обучения с подкреплением заключается в нахождении оптимальной стратегии, которая за длительный период времени даёт наибольший доход. Всегда существует хотя бы одна оптимальная стратегия, большая или равная всем остальным [2].

**Динамическое программирование.** Динамическое программирование (ДП) представляет собой собирательный образ семейства алгоритмов, используемых для вычисления оптимальных стратегий, при наличии идеальной модели окружающей среды, представленной в виде (МППР) [2]. В большинстве современных задач робототехники использование данных методов является нецелесообразным по причине необходимости наличия идеальной модели среды и большого объёма вычислительных ресурсов для расчёта вероятностей каждого перехода, что невозможно удовлетворить в рамках текущего уровня

технологий с ростом числа состояний задачи (*проклятие размерности*). Методы динамического программирования представляют наибольший интерес с теоретической точки зрения, так как вводят понятие «оценивание стратегии» – вычисление для произвольной стратегии  $\pi$  функции ценности состояния, что, в свою очередь, является синонимом задачи предсказания.

**Методы Монте-Карло.** Данная совокупность методов представляет один из способов решения задачи обучения с подкреплением, основанный на усреднении выборочного дохода для каждой из пар «состояние – действие» [2]. В отличие от ДП, включающего одношаговые переходы, *методы Монте-Карло (ММК)* рассматривают весь процесс до конца эпизода. Основной идеей ММК является оценивание стратегии ради ценности действий – необходимость оценить ожидаемый доход в случае старта из состояния  $s$ , выборе действия  $a$  и следования стратегии  $\pi$ . В зависимости от посещений ММК делятся на два типа: *первого посещения* – когда усредняется доход, после того как данное действие было выбрано впервые в данном состоянии; *всех посещений* – когда усредняется доход, полученный после всех посещений соответствующей пары.

К сожалению, многие из пар могут быть ни разу не задействованы. Один из вариантов обхода данной проблемы – *метод исследовательских стартов*, при котором эпизод начинается с некой пары «состояние – действие», и для любой такой пары вероятность старта в ней является ненулевой [2, 4].

Для использования в реальных системах данный метод не подходит в отличие от наиболее распространённого – *метода стохастических стратегий с ненулевой вероятностью выбора действия для каждого состояния*, при котором встречаются все пары «состояние – действие». В зависимости от стратегии выделяют: *ММК с единой стратегией* – попытка оценить или улучшить имеющийся алгоритм выбора пары «состояние – действие»; *ММК с разделённой стратегией* – использует две стратегии, одна из которых оптимальная, а вторая – поведенческая.

Первый из перечисленных типов является наиболее простым и представляет собой частный случай ММК второго типа. У методов



с разделённой стратегией меньше сходимость, больше дисперсия и сложность по причине того, что есть данные, связанные с другой стратегией.

Основной плюс данного класса методов заключается в отсутствии необходимости в точной модели окружающей среды, что актуально для управления роботами. Несмотря на простоту концепции ММК, применение данных подходов с разделённой стратегией для решения задач предсказания и управления еще не устоялось и активно исследуется.

**Методы временных различий.** Методы временных различий (МВР) представляют собой совокупность идей методов Монте-Карло и динамического программирования. Обучение основано на опыте без необходимости в точной модели окружающей среды.

В данных методах оценки обновляются по ходу обучения, не дожидаясь конечного результата, и основываются на других обученных оценках (*бутстреппинг*) [2]. Другими словами, МВР сочетают выборку, представленную в ММК, и бутстреппинг, присущий динамическому программированию. Исходя из количества шагов при формировании оценки, МВР делятся на *одношаговые* –  $TD(0)$  и *многошаговые*  $TD(n)$ . Различие заключается в том, с какого момента производится обновление функции ценности на каждом шаге, как в случае  $TD(0)$ , или же через  $n$ -е количество шагов для  $TD(n)$ . Одношаговый алгоритм в простейшем случае имеет вид:

$$V(S_t) = V(S_t) + \alpha[R_{t+1} + \gamma V(S_{t+1}) - V(S_t)], \quad (5)$$

где  $\alpha$  – постоянный параметр размера шага.

В отличие от ММК  $TD$ -методы не нуждаются в ожидании конца эпизода. На практике алгоритмы быстрее сходятся к асимптотически правильным предсказаниям, чем ММК, но с математической точки зрения пока это не удалось доказать. Как и в случае ММК,  $TD$ -методы также подразделяются на  *$TD$  с единой стратегией* и  *$TD$  с разделённой стратегией*. Среди одношаговых алгоритмов выделяют: *SARSA*, *Q-обучение*, *Expected SARSA*, *двойное обучение*.

**Алгоритм SARSA** сходится к оптимальной стратегии и функции ценности действий с вероятностью 1, при выполнении условия бесконечного посещения всех пар «состояние – действие» и сходимости

стратегии в пределе к жадной [2]. Обновление происходит по следующей формуле:

$$Q(S_t, A_t) = Q(S_t, A_t) + \alpha[R_{t+1} + Q(S_{t+1}, A_{t+1}) - Q(S_t, A_t)]. \quad (6)$$

**Алгоритм Q-обучение** сходится к оптимальной функции ценности действий с вероятностью 1, при этом аппроксимирует её вне зависимости от стратегии [2]. Обновление ценностей происходит по следующей формуле:

$$Q(S_t, A_t) = Q(S_t, A_t) + \alpha \left[ R_{t+1} + \gamma \max_a Q(S_{t+1}, a) - Q(S_t, A_t) \right]. \quad (7)$$

**Алгоритм Expected SARSA** – очень похож на Q-обучение. В формуле обновления вместо вычисления максимума по параметрам, производится вычисление математического ожидания с учётом вероятности выбора действия при каждой стратегии:

$$Q(S_t, A_t) = Q(S_t, A_t) + \alpha [R_{t+1} + \gamma \sum \pi(a | S_{t+1}) Q(S_{t+1}, a) - Q(S_t, A_t)]. \quad (8)$$

Expected SARSA требует больше вычислений, чем SARSA, но устраняет дисперсию, возникающую из-за случайного выбора действия на следующем шаге. В [2] приводится сравнение одношаговых TD-алгоритмов на примере задачи сеточного мира с наличием обрыва, в результате которого данный алгоритм показал лучшие результаты. Если бы не дополнительные накладные расходы на вычисления, то Expected SARSA смог бы полностью заменить и SARSA, и Q-обучение.

**Двойное обучение (D-обучение).** Описанные ранее методы при построении целевых стратегий включают максимизацию. Вычисление максимума по оценкам ценностей используется неявно в виде оценивания максимальной ценности, что может порождать значительное положительное смещение – *смещение максимизации*. Это связано с тем, что одна и та же выборка используется как для определения доставляющего максимум действия, так и для оценки ценности этого действия. Алгоритм двойного обучения решает эту проблему. Его идея достаточно проста [2]. Производится разбиение множества выборки пополам и каждое подмножество используется для обучения двух независимых оценок действий  $Q_1(a)$  и  $Q_2(a)$ . Одна из оценок использу-

ется для определения действия, доставляющего максимум действия, а вторая – для оценки ценности данного действия. При этом оценка будет несмещённой. Процесс повторяется с заменой соответствующих оценок местами, в результате чего получается новая несмещённая оценка. Минусом подхода является необходимость в двойном объёме памяти для хранения. На практике, чередование может осуществляться подбрасыванием монеты. Пусть при выпадении орла используется  $Q_1$ . Тогда обновление будет иметь следующий вид:

$$Q_1(S_t, A_t) = (1 - \alpha)Q_1(S_t, A_t) + \alpha[R_{t+1} + \gamma Q_2(S_{t+1}, \operatorname{argmax} Q_1(S_{t+1}, a))]. \quad (9)$$

В случае выпадения решки,  $Q_1$  и  $Q_2$  меняются местами.

**Заключение.** Обучение с подкреплением является мощным инструментом для создания адаптивных систем реального времени. Применяя данную методологию в контексте приложений, в особенности робототехнических, очень важно учитывать сложность реализации алгоритма, а также ресурсоёмкость. Если для обширного числа задач, по большей части реализуемых на серверах или мощных ПК, вопрос достаточности ресурсов можно опустить (в той или иной степени), то для построения систем управления роботами, которые зачастую строятся с ограничениями, данный вопрос является основным. Любая система подчиняется принципам системного подхода, при котором производится разделение на подсистемы и на уровни управления [5].

Описанные в данной статье методы применимы на практике, но использование того или иного алгоритма зависит от уровня управления, который можно охарактеризовать полнотой описания (конечность состояний, точная модель среды). Для задач с небольшим конечным количеством состояний применимы любые из перечисленных методов в табличной форме.

Для случая, когда количество неопределенно, широкое применение нашли методы Монте-Карло и методы временных различий. Не нуждаясь в точной модели среды, данные алгоритмы способны аппроксимировать функцию ценности до оптимальной, что очень важно для решения задачи оптимального управления вообще и задачи управления роботизированными системами в частности.

### Библиографический список

1. Юревич Е.И. Основы робототехники: учеб. пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 304 с.
2. Саттон Р.С., Барто Э.Дж. Обучение с подкреплением: Введение: пер. с англ. – 2-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 552 с.
3. Введение в обучение с подкреплением: от многорукого бандита до полноценного RL агента. – 2017. – URL: <https://habr.com/ru/companies/newprolab/articles/343834/>
4. Акимов А.А., Малагина Е.С. Использование методов Монте-Карло в обучении с подкреплением // Научное обозрение. – 2022. – № 6. – С. 5–11.
5. Иерархический регулятор на основе алгоритма обучения с подкреплением для реконфигурируемого многомодульного шагающего мобильного робота / Р.А. Мунасыпов, Т.Р. Шахмаматьев, С.С. Москвичев, И.Х. Хамадеев // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17, № 5. – С. 31–37.

### Сведения об авторах

**Кашко Василий Васильевич** – аспирант кафедры «Автоматизированные и вычислительные системы» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: [vasya.kashko@mail.ru](mailto:vasya.kashko@mail.ru)

**Олейникова Светлана Александровна** – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные и вычислительные системы» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: [s.a.oleynikova@gmail.com](mailto:s.a.oleynikova@gmail.com)

**Д.Н. Куций**

Южно-Российский государственный политехнический  
университет им. М.И. Платова, Новочеркасск

## **ФОРМАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ НАУЧНОЙ СТАТЬИ С ПОМОЩЬЮ КОНТЕКСТНО-СВОБОДНОЙ ГРАММАТИКИ**

Рассмотрен поход по выделению структурных компонентов текста научной статьи с помощью контекстно-свободной грамматики. Приведены основные правила грамматики, спроектированные с учетом хранения атрибутов и соответствия текста схеме IMRAD. Даны рекомендации по выполнению сегментирования текста.

**Ключевые слова:** формальный язык, контекстно-свободная грамматика, IMRAD, парсинг, информационный поиск.

**D.N. Kushchiy**

South Russian State Polytechnic University  
named after M.I. Platova, Novocherkassk

## **FORMALIZATION OF THE STRUCTURE OF A SCIENTIFIC ARTICLE USING CONTEXT-FREE GRAMMAR**

The presented material discusses the approach to identifying the structural components of the text of a scientific article using context-free grammar. The basic rules of grammar are given, designed taking into account the storage of attributes and compliance of the text with the IMRAD scheme. Recommendations for performing text segmentation are given.

**Keywords:** formal language, context-free grammar, IMRAD, parsing, information search.

Поддержка информационного обеспечения проводимых научных исследований является актуальной задачей в условиях экспоненциального роста объемов информации, создаваемой на естественном языке и хранящейся в электронном виде. В целях повышения релевантности результатов поиска, выдаваемых на запрос пользователя, предлагается использовать подход, при котором ранжирование результатов будет происходить не только на основании совпадения термов, но и структуры документа [1].

В рамках указанного подхода для формализации структуры научной статьи предлагается использовать контекстно-свободную (КС) грамматику – средство строгого описания естественных языков. Следует отметить, идея использования КС-грамматик для обработки текстов на естественном языке неоднократно находила применение в таких задачах, как обработка технического задания [2], извлечение онтологий из аннотаций статей [3], определение формулы изобретения на способ в патентах по фармакологии [4] и др.

Основные правила грамматики, описывающей текст научной статьи с учетом хранения атрибутов и схемы IMRAD, представлены в листинге 1 в форме Бэкуса – Наура.

Листинг 1 – Основные правила КС-грамматики структуры научной статьи

```

<научная-статья> ::= <заголовок><авторы><ключевые-
слова><аннотация><введение>
<основная-часть><заключение><список-литературы>
<ключевые-слова> ::= "Ключевые слова: "<список-
ключевых-слов>";"
<список-ключевых-слов> ::= <ключевое-
слово> (" "<ключевое-слово>)*
<ключевое-слово> ::= <текст>
<список-литературы> ::= "Список литературы: "<ссылка-
на-литературу> (" "<ссылка-на-литературу>)*";"
<ссылка-на-литературу> ::= "["<номер-
ссылки>"]"<авторы> ("<год-публикации>") "
<название-работы>"/"/<название-журнала>","<том>("
<номер-выпуска>"), "<страницы>
<номер-ссылки> ::= <цифра>+
<год-публикации> ::= <цифра>{4}
<название-работы> ::= <текст>
<название-журнала> ::= <текст>
<том> ::= <цифра>+
<номер-выпуска> ::= <цифра>+
<страницы> ::= <цифра>+"-"?<цифра>*
<заголовок> ::= "Заголовок: "<текст>";"
<авторы> ::= "Авторы: "<список-авторов>";"
<список-авторов> ::= <автор> (" "<автор>)*
<автор> ::= <фамилия><инициалы>
<фамилия> ::= <текст>

```

```

<инициалы> ::= <текст>
<абстракт> ::= "Аннотация: "<текст>";"
<введение> ::= "Введение: "<текст>";"
<основная-часть> ::= "Основная часть: "<текст>";"
<заключение> ::= "Заключение: "<текст>";"

```

Приведенные правила можно расширить для случая работы с веб-страницами [5] на основании предварительного анализа их DOM – документно-объектной модели представления содержимого страницы в виде корневого дерева, где корневой является вершина, соответствующая корневому тегу <html>, содержащего внутри всю остальную верстку [6].

В листинге 2 приведен фрагмент правил грамматики, адаптированной для научной статьи в формате HTML.

Листинг 2 – Правила КС-грамматики структуры научной статьи в HTML-формате

```

<html-article> ::= "<!DOCTYPE
html>"<html><head><title><заголовок> </title></head>
<body><header><h1><заголовок></h1></header><authors><
abstract> <introduction><main-
content><conclusion><keywords><references>
</body></html>
<заголовок> ::= <текст>
<authors> ::= <section><h2>Авторы</h2><p><список-
авторов></p></section>
<abstract> ::= <sec-
tion><h2>Абстракт</h2><p><текст></p></section>
<introduction> ::= <section>
<h2>Введение</h2><p><текст></p></section>
<main-content> ::= <section><h2>Основная
часть</h2><p><текст></p></section>
<conclusion> ::= <sec-
tion><h2>Заключение</h2><p><текст></p></section>
<keywords> ::= <section> <h2>Ключевые слова</h2>
<p><список-ключевых-слов></p> </section>
<references> ::= <section><h2>Список литературы</h2>
<ul><список-ссылок></ul> </section>

```

Дальнейшая обработка текста заключается в разборе статьи в соответствии с построенной грамматикой. Для автоматизации данного процесса используются парсеры – инструменты извлечения структурированной информации из неструктурированных или полуструктурированных

данных. Данные программные средства могут быть написаны самостоятельно или с использованием готовых библиотечных решений.

Сегментирование текста в предлагаемом подходе формализации структуры научной статьи выполнено за счет использования следующих средств языка Python: пакета обработки естественного языка NLTK; библиотеки парсинга HTML и XML документов BeautifulSoup и лексического анализатора Lex-Yacc (листинг 3).

Листинг 3 – Сегментация текста

```
import ply.lex as lex
import ply.yacc as yacc

# Лексер
tokens = (
    'HEADER', 'AUTHORS', 'ABSTRACT', 'INTRODUCTION',
'MAIN_CONTENT',
    'CONCLUSION', 'KEYWORDS', 'REFERENCES', 'TEXT',
)

t_HEADER = r'Заголовок:.*?;'
t_AUTHORS = r'Авторы:.*?;'
t_ABSTRACT = r'Абстракт:.*?;'
t_INTRODUCTION = r'Введение:.*?;'
t_MAIN_CONTENT = r'Основная часть:.*?;'
t_CONCLUSION = r'Заключение:.*?;'
t_KEYWORDS = r'Ключевые слова:.*?;'
t_REFERENCES = r'Список литературы:.*?;'

# Извлекаем данные
soup = BeautifulSoup(html_code, 'html.parser')

lexer = lex.lex()
parser = yacc.yacc()
lexer.input(article_text)
for tok in lexer:
    pass
parsed_result = parser.parse(article_text, lexer=lexer, soup)
```

В ходе экспериментальной оценки влияния учета структуры документа на релевантность результатов поиска полученные значения полноты, точности и  $F$ -меры на 10–15 % лучше в сравнении с результатами поиска, учитывающего только совпадение термов.



### Библиографический список

1. Гринченков Д.В., Куций Д.Н. Решение задачи построения запросов в системе тематического поиска на основе распознавания частично структурированных текстов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 10–16.
2. Заболеева-Зотова А.В., Орлова Ю.А. Атрибутная грамматика формального документа «Техническое задание» // Известия ВолГТУ. – 2008. – № 2. – С. 39–43.
3. Алексеевский Д.А. Применение контекстно-свободных грамматик для извлечения онтологии из текстов коротких описаний статей биологической тематики // Информатика и её применения. – 2016. – Т. 10, вып. 1. – С. 119–128.
4. Бабина О.И. Построение модели извлечения информации из технических текстов: дис. ... канд. филол. наук: 10.02.21. – Челябинск, 2006. – 272 с.
5. Куций Д.Н. О построении поискового образа документа с использованием смешанных компонентов // Интеллектуальные технологии в науке и образовании»: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, ЮРГПУ(НПИ), 24–25 ноября 2023 г. – Новочеркасск: ООО «Лик», 2023. – С. 24–28.
6. Салтыков А., Куротченко С., Дорохин Р. Алгоритм контекстно-зависимого аннотирования [Электронный ресурс] // Труды российского семинара по оценке методов информационного поиска РОМИ-П'2010. – Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2010. – URL: [http://gomip.ru/gomip2010/08\\_rookie\\_annotation.pdf](http://gomip.ru/gomip2010/08_rookie_annotation.pdf) (дата обращения: 15.04.2023).

### Сведения об авторе

**Куций Дарья Николаевна** – аспирантка кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники» Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, e-mail: [dkushchiy@rambler.ru](mailto:dkushchiy@rambler.ru)

**М.В. Баранов**

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир

## **АСИНХРОННАЯ ХОРЕОГРАФИЯ МИКРОСЕРВИСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРАСНЕ КАФКА**

Исследуется использование асинхронного обмена сообщениями между микросервисами. Хореография сервисов является одним из способов организации их взаимодействия. Однако стандартный подход с использованием синхронного обмена между сервисами имеет массу недостатков. В статье представлен способ, как выполнить переход к асинхронному обмену, также представлены преимущества данного подхода.

**Ключевые слова:** микросервис, хореография, сервис, python, Apache kafka.

**M.V. Baranov**

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich  
and Nikolai Grigorievich Stoletov, Vladimir

## **ASYNCHRONOUS CHOREOGRAPHY OF MICROSERVICES WITH USING APACHE KAFKA**

This article explores the use of asynchronous messaging between microservices. The choreography of services is one of the ways to organize their interaction. However, the standard approach using synchronous exchange between services has a lot of disadvantages. The article presents a way to make the transition to asynchronous exchange, and also presents the advantages of this approach.

**Keywords:** microservice, choreography, service, python, Apache kafka.

Для выполнения одного бизнес-процесса может потребоваться вызов сразу нескольких сервисов. Это можно сделать на стороне клиента, но данный подход является неоптимальным из-за увеличения трафика (с увеличением числа запросов увеличивается объем данных, отправляемых и получаемых клиентом), что особенно критично для мобильных устройств. Для решения данной проблемы можно использовать шаблоны организации взаимодействия между сервисами – оркестрацию и хореографию [1]. В данной статье рассматривается использование хореографии.

Хореография – шаблон организации взаимодействия между сервисами, где нет главного элемента, все сервисы являются автономными и обладают некоторой логикой выполнения [2] (рис. 1).

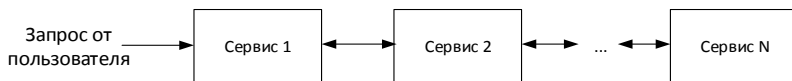


Рис. 1. Хореография сервисов с синхронными сообщениями

В ситуациях, когда работа сервиса может занимать много времени либо когда требуется избавиться от синхронных запросов, можно реализовать взаимодействие с использованием асинхронных запросов [2]. Для этого используются специальные брокеры (очереди) сообщений, которые позволяют привести взаимодействие к событийному виду. Это подразумевает использование издателей (producer) и подписчиков (consumer), которые создают и/или подписываются на сообщения в очереди (message queue). Пример организации хореографии с асинхронными сообщениями представлен на рис. 2.

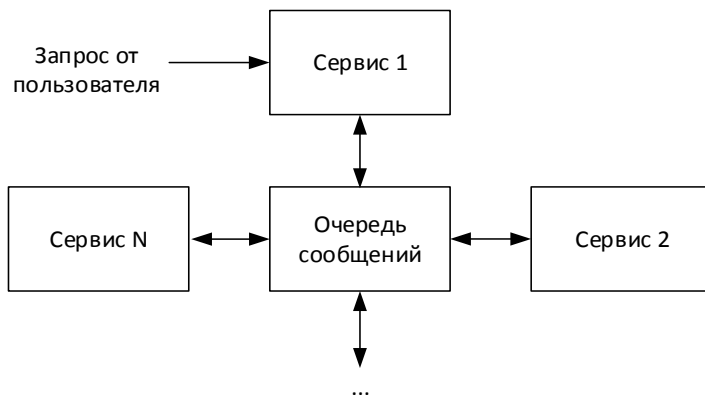


Рис. 2. Хореография сервисов с асинхронными сообщениями

Apache Kafka – это распределенная система обмена сообщениями, разработанная для обработки высоких объемов данных в режиме реального времени. Она предоставляет надежный и масштабируемый способ передачи данных между различными приложениями и компонентами системы. Kafka строится на принципе «очереди событий», где данные

публикуются в виде сообщений в центральный брокер, а затем потребители могут подписываться на эти сообщения и обрабатывать их [3].

Рассмотрим следующий бизнес-процесс: имеется сервис D, который является издателем и публикует сообщения в очередь через какой-то интервал времени. Сервис E подписывается на сообщения от D, выводит полученное сообщение и отправляет его в другую очередь. Сервис F обрабатывает события из второй очереди и выводит сообщения на экран [3].

В данном примере отсутствуют какие-либо синхронные взаимодействия, все выполняется асинхронно с использованием брокера. Код сервисов разработан на языке python и представлен в листингах 1–3.

Листинг 1 – Код сервиса D

```
from time import sleep
from json import dumps
from kafka import KafkaProducer

# initializing the Kafka producer
my_producer = KafkaProducer(
    bootstrap_servers=['localhost:9092'],
    value_serializer=lambda x: dumps(x).encode('utf-
8')
)

for n in range(500):
    my_data = {'num': n}
    my_producer.send('testnum', value=my_data)
    print('%d send' % n)
    sleep(1)
```

В данном коде создается объект класса `KafkaProducer`, который является издателем сообщений. Далее в цикле, раз в секунду, отправляется новое событие в топик «testnum» с данными в JSON-формате, где содержится число в поле «num», указывающее текущую итерацию цикла [4].

Листинг 2 – Код сервиса E

```
from json import loads
from kafka import KafkaConsumer, KafkaProducer
from json import dumps
# generating the Kafka Consumer
my_consumer = KafkaConsumer(
```

```

        'testnum',
        bootstrap_servers=['localhost : 9092'],
        auto_offset_reset='earliest',
        enable_auto_commit=True,
        group_id='my-group',
        value_deserializer=lambda x: loads(x.decode('utf-8'))
    )

my_producer = KafkaProducer(
    bootstrap_servers=['localhost:9092'],
    value_serializer=lambda x: dumps(x).encode('utf-8')
)

for message in my_consumer:
    temp = message.value
    print('%d recv' % temp['num'])
    my_producer.send('ask', value=temp)

```

Данный сервис обрабатывает события из топика «testnum» и публикует в топик «ask».

### Листинг 3 – Код сервиса F

```

# consumer
from json import loads
from kafka import KafkaConsumer
from json import dumps

# generating the Kafka Consumer
my_consumer = KafkaConsumer(
    'ask',
    bootstrap_servers=['localhost : 9092'],
    auto_offset_reset='earliest',
    enable_auto_commit=True,
    group_id='my-group',
    value_deserializer=lambda x: loads(x.decode('utf-
8'))
)

for message in my_consumer:
    temp = message.value
    print('%d ask' % temp['num'])

```

Данный сервис выводит на экран сообщение, полученное из топика «ask».

Консольный вывод сервисов представлен в таблице.

#### Вывод сервисов

Сервис D	Сервис E	Сервис F
0 send	0 recv	0 ask
1 send	1 recv	1 ask
2 send	2 recv	2 ask
3 send	3 recv	3 ask

Использование асинхронного обмена сообщениями дает ряд преимуществ перед синхронным: отправив сообщение в очередь, сервис продолжит свою работу, не дожидаясь завершения обработки. Это повышает производительность и эффективность работы микросервиса. Также для обмена данными между сервисами не требуется информация о его IP адресе, например, для отправки HTTP запроса. Это упрощает работу по организации обмена между сервисами при использовании масштабирования.

#### Библиографический список

1. Gorton I. Essential Software Architecture Second Edition // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
2. Richards M. Software Architecture Patterns // O'Reilly Media, 2015.
3. Apache Kafka: основы технологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/companies/southbridge/articles/550934/> (дата обращения: 01.06.2023).
4. Apache Kafka documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://kafka.apache.org/documentation/> (дата обращения: 01.06.2023).

#### Сведения об авторе

**Баранов Максим Валерьевич** – магистрант Института информационных технологий и радиоэлектроники Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, гр. ВТм-122, г. Владимир, e-mail: [alasn@mail.ru](mailto:alasn@mail.ru)

**М.А. Мартусевич**

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ TSPLIB ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА**

Приведено описание библиотеки экземпляров задач коммивояжера TSPLIB, которая обеспечивает исследователей широким набором тестовых задач с различными свойствами. Библиотека дает возможность исследовать существующие методы решения задач коммивояжера, а также проводить эксперименты над новоизобретенными. Также приводится пример использования библиотеки в целях исследования методов решения задачи коммивояжера.

**Ключевые слова:** задача коммивояжера, исследование, программные средства.

**M.A Martusevich**

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich  
and Nikolai Grigorievich Stoletov, Vladimir

## **THE USAGE OF THE TSPLIB LIBRARY TO STUDY ALGORITHMS FOR SOLVING THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM**

This article describes the TSPLIB library of instances of traveling salesman tasks, which provides researchers with a wide range of test tasks with various properties. The library provides an opportunity to explore existing methods for solving traveling salesman problems, as well as to conduct experiments on newly invented ones. An example of using the library in order to study methods for solving the traveling salesman problem is also given.

**Keywords:** travelling salesman problem, research, software tools.

На сегодняшний день задача коммивояжера является одной из самых популярных и часто задаваемых в комбинаторике. Существует большое количество литературы по данной теме, а также проводится множество вычислительных экспериментов. Смысл задачи состоит в том, чтобы найти максимально короткий путь для посещения всех

городов, которые заданы, начиная и заканчивая в одном и том же городе. Настоящая работа посвящена обзору библиотеки, включающей в себя экземпляры задач коммивояжера – TSPLIB, ее структуру и способы реализации программных средств для решения различных задач, которые она содержит.

**Обзор библиотеки.** TSPLIB (Traveling Salesman Problem Library) – это набор тестовых задач, собранных Гейдельбергским университетом, который разработан для проверки и сравнения различных методов решения задачи коммивояжера на большом количестве примеров, он широко используется исследователями в области оптимизации.

Содержимое библиотеки включает в себя большое количество задач, а также маршруты наиболее эффективных решений: задачи с асимметричными и симметричными решениями, которые используются для поиска гамильтонова цикла, задачи с частичным упорядочиванием, которые дают еще больше возможностей при исследовании.

TSPLIB дает возможность оценивать производительность различных алгоритмов решения задачи коммивояжера на различных наборах данных, определять зависимость скорости работы алгоритма от размерности задачи, изучать особенности наборов данных, влияющих на работу алгоритмов, а также разработку новых алгоритмов на основе существующих.

**Структура файлов.** Файлы библиотеки делятся на две части: тестовые задачи и контрольные примеры. Файлы тестовых задач предназначены для оценки производительности алгоритмов, а контрольные примеры предназначены для проверки их работы. Файлы задач и примеров – это специальные файлы, представленные в текстовом формате, которые состоят из нескольких блоков: блока спецификации к задаче и блока данных [1, 2]. Раздел спецификации, как правило, содержит информацию о содержимом файла: наименование и тип задачи, размерность, представление узлов и весов графа и т.д.

Раздел данных может содержать различные данные в зависимости от класса и спецификации задачи: для каждой размерности приводится список координат городов, а также квадратная матрица расстояний между всеми парами городов. Координаты и расстояния записаны в виде чисел с плавающей точкой.

Так как библиотека TSPLIB предоставляет только экземпляры задач, для работы с ними требуется использовать специальные про-



граммные инструменты, которые способны взаимодействовать с форматом файлов библиотеки.

**Программные реализации.** На данный момент существует небольшое количество программных реализаций, одной из широко используемых является TSPLIB95 для языка программирования Python [3]: она позволяет читать и создавать свои собственные задачи в формате библиотеки, имеет широкий функционал, а также позволяет визуализировать проблемы и решения задач [4]. В качестве альтернативы также существуют реализации на языках R и Julia. Реализация на языке R имеет схожий с реализацией на Python функционал, однако не имеет возможности получить графическое решение задачи.

Рассмотрим базовые примеры использования реализации на Python в целях исследования задачи коммивояжера. Важно отметить, что TSPLIB95 официально не поставляется с файлами проблем. Проблемы и решения являются автономными файлами, любой файл, соответствующий стандартам формата файлов TSPLIB, может быть без ошибок загружен в программу. Загрузка файлов в программу может производиться несколькими методами: из файла на диске (листинг 1), а также из литерала строки (листинг 2).

Листинг 1 – Загрузка файлов с диска

```
import tsplib95
problem =
tsplib95.load('archives/problems/tsp/bay29.tsp')
```

Листинг 2 – Загрузка из строки

```
import tsplib95
with open('archives/problems/tsp/gr17.tsp') as f:
    text = f.read()
...
problem = tsplib95.parse(text)
```

После открытия файла с задачей, можно распечатать весь отсканированный текст задачи (листинг 3).

Листинг 3 – Печать задачи

```
>>> print(problem.render())
NAME: gr17
COMMENT: 17-city problem (Groetschel)
TYPE: TSP
DIMENSION: 17
EDGE_WEIGHT_TYPE: EXPLICIT
```

```

EDGE_WEIGHT_FORMAT: LOWER_DIAG_ROW
EDGE_WEIGHT_SECTION:
0 633 0 257 390 0 91 661 228 0 412 227
169 383 0 150 488 112 120 267 0 80 572 196
77 351 63 0 134 530 154 105 309 34 29 0
259 555 372 175 338 264 232 249 0 505 289 262
476 196 360 444 402 495 0 353 282 110 324 61
208 292 250 352 154 0 324 638 437 240 421 329
297 314 95 578 435 0 70 567 191 27 346 83
47 68 189 439 287 254 0 211 466 74 182 243
105 150 108 326 336 184 391 145 0 268 420 53
239 199 123 207 165 383 240 140 448 202 57 0
246 745 472 237 528 364 332 349 202 685 542 157
289 426 483 0 121 518 142 84 297 35 29 36
236 390 238 301 55 96 153 336 0
EOF

```

Для работы с задачами библиотека определяет множество методов, позволяющих получить различные детали и параметры текущей задачи. Пользователи имеют возможность получить списки всех вершин и ребер в графе с помощью методов `get_nodes()` и `get_edges()`. Пример использования методов представлен в листинге 4.

Листинг 4 – Пример использования

```

>>> list(problem.get_nodes())
[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]

>>> len(list(problem.get_edges()))
289

>>> list(problem.get_edges())[0]
(0, 0)

```

Также библиотека предоставляет метод, который позволяет получить расстояние между двумя узлами, передав их значения в `get_weight()`. Пример использования представлен в листинге 5.

Листинг 5 – Пример использования

```

>>> problem =
tsplib95.load('archives/problems/vrp/eil22.vrp')
>>> edge = 3, 8
>>> weight = problem.get_weight(*edge)
>>> print(f'The driving distance from node {edge[0]}
to node {edge[1]} is {weight}.')
The distance between node 3 and node 8 is 19.

```

Задачи содержат набор логических флагов, которые отражают информацию о графе. Например, с помощью флага `is_symmetric()` можно проверить, является ли задача симметричной задачей коммивояжера, а флаг `is_complete()` проверяет, обозначен ли в задаче полный граф.

**Заключения.** В результате применения библиотеки TSPLIB появилась возможность проводить оценку производительности различных алгоритмов решения задач коммивояжера на различных комплексах данных, а программные реализации для взаимодействия с этой библиотекой позволяют автоматизировать процесс проведения экспериментов.

### **Библиографический список**

1. Reinelt G. TSPLIB – A Traveling Salesman Problem Library // *Journal on Computing*. – 1991. – № 3. – P. 267–384.
2. Reinelt G. TSPLIB 95 Documentation [Электронный ресурс] // Ruprecht Karls Universitat Heidelberg. – URL: <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/tsp95.pdf> (дата обращения: 03.12.2023).
3. TSPLIB 95 [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/rhgrant10/tsplib95> (дата обращения: 03.12.2023).
4. Grant R. TSPLIB 95 Documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://buildmedia.readthedocs.org/media/pdf/tsplib95/latest/tsplib95.pdf> (дата обращения: 03.12.2023).

### **Сведения об авторе**

**Мартусевич Михаил Александрович** – магистрант кафедры «Вычислительная техника и системы управления» Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, гр. ВТм-122, г. Владимир, e-mail: [m.martusevich@yandex.ru](mailto:m.martusevich@yandex.ru)

**Р.Т. Мухаметсафин<sup>1</sup>, М.А. Гарипова<sup>1,2</sup>,  
С.А. Сторожев<sup>1</sup>, А.А. Гаркушин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермская научно-производственная  
приборостроительная компания, Пермь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ АКСЕЛЕРОМЕТРА «ICM-20689» НА БАЗЕ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА CUAV V5+ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ $\chi^2$**

Исследуется способ определения погрешности датчиков акселерометра, встроенных в полетный контроллер CUAV V5+ для беспилотных авиационных систем. В беспилотных авиационных системах с помощью акселерометра определяют ускорение и, соответственно, изменение скорости и положение в пространстве. Исследование погрешности акселерометра позволяет корректировать измерения для уменьшения ошибок и увеличения точности получаемых данных, что является ключевым аспектом в авиации, мореплавании, а также автопилоте, используемом для беспилотных авиационных систем.

**Ключевые слова:** беспилотные авиационные системы, статистический анализ, полётный контроллер, акселерометр, среднеквадратичное отклонение, коэффициент  $\chi^2$ .

**R.T. Mukhametsafin<sup>1</sup>, M.A. Garipova<sup>1,2</sup>,  
S.A. Storozhev<sup>1</sup>, A.A. Garkushin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Perm Scientific and Production Instrument-Making Company, Perm

## **STUDY OF THE ERROR OF THE “ICM-20689” ACCELEROMETER BASED ON CUAV V5+ FLIGHT CONTROLLER USING $\chi^2$ CRITERION**

This paper investigates a method for determining the error of accelerometer sensors embedded in the CUAV V5+ flight controller for unmanned aircraft systems. In unmanned aircraft systems, an accelerometer is used to determine acceleration and, accordingly, changes in speed and position in space. Accelerometer error testing allows measurements to be adjusted to reduce errors and increase the accuracy of the data obtained, which is a key aspect in aviation, navigation, and autopilot used for unmanned aircraft systems.

**Keywords:** unmanned aircraft systems, statistical analysis, flight controller, accelerometer, standard deviation,  $\chi^2$  coefficient.

В современном мире все большую популярность набирают беспилотные авиационные системы. Полётный контроллер, входящий в состав таких систем, является ключевым компонентом, который обеспечивает устойчивость и стабилизацию полёта, а также отвечает за навигацию и управление. В своем составе полётный контроллер имеет MEMS-акселерометры, представляющие из себя микроэлектромеханические устройства, способные измерять кажущееся ускорение и изменение скорости с высокой точностью. Но такие датчики не всегда могут обеспечить максимальную точность снятия данных ввиду внешних воздействий, например, температуры, вибрации и т.д.

На практике для обработки погрешностей используются методы статистического анализа: среднеквадратичное отклонение и коэффициент  $\chi^2$ .

Метод среднеквадратичной ошибки (СКО) – это один из наиболее распространенных статистических методов для измерения точности прогнозов и оценок моделей. Этот метод используется для определения различия между наблюдаемыми значениями и оцененными средними значениями. СКО рассчитывается по формуле

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i. \quad (1)$$

Для каждого измерения рассчитывается погрешность по формуле

$$\Delta a_i = a_i - \bar{a}, \quad (2)$$

Далее вычисляется оценка СКО  $\sigma$  (3), а также доверительный интервал, представляющий собой границы прогноза (верхнюю и нижнюю), в рамки которых с заданной вероятностью (сигма) попадут фактические значения. Доверительный интервал помогает проверить полученные данные на грубые погрешности. Все те значения, которые не входят в доверительный интервал (4), исключаются из рассмотрения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta a_i^2}{n}}, \quad (3)$$

$$|\Delta a_i| < \bar{a} + 3\sigma. \quad (4)$$

Исходя из полученных данных после доверительного интервала необходимо построить гистограммы реального распределения по-

грешностей замеров при помощи разбиения погрешностей на 8 интервалов с шириной, вычисляемой по формуле:

$$h = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{8}. \quad (5)$$

Для построения гистограммы нормального распределения необходимо определить середины интервалов  $\varepsilon_i$  и провести нормализацию середины по формуле

$$\eta_i = \frac{\varepsilon_i - \bar{a}}{S}. \quad (6)$$

Оценка стандартного отклонения на основании несмещённой дисперсии вычисляется по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \Delta a_i}{k - 1}}. \quad (7)$$

Далее определяется функция плотности распределения вероятности

$$f_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\eta_i^2}{2}}. \quad (8)$$

Для построения идеальной гистограммы нормального закона распределения необходимо рассчитать частоту попаданий в каждый интервал

$$\varphi_i^* = k \frac{h_i}{S} f_i. \quad (9)$$

Построение идеальной гистограммы согласно закону равномерного распределения  $\varphi_i^*$ , будет рассчитываться по формуле

$$\varphi_i^* = \frac{k}{m}, \quad (10)$$

где  $k$  – количество измерений,  $m$  – количество интервалов.

Для проверки на соответствие опытных данных заданным законам распределения можно оценить близость частот [1]. Для этого может быть использован критерий  $\chi^2$ , вычисляемый по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(\varphi_i - \varphi_i^*)^2}{\varphi_i^*}. \quad (11)$$

Для установления погрешности проведен эксперимент с использованием одноосного поворотного стенда МПУ-1 (рис. 1). Полётный контроллер CUAV V5+ закреплялся на плече, равном 15 см, и раскручивался на

двух угловых скоростях – 75, 110 град/с. По итогу эксперимента получены данные центростремительного ускорения, которые отображены в табл. 1, и составлены зависимости ускорения от угловых скоростей.

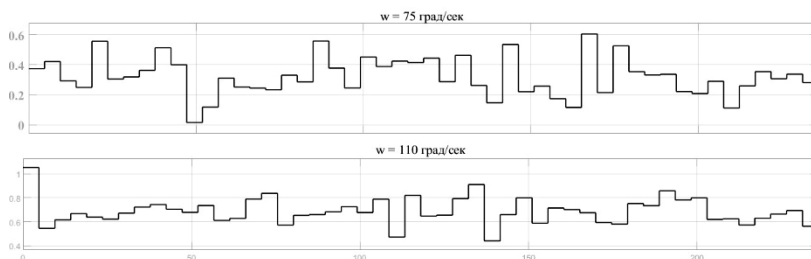


Рис. 1. Графики измеренного центростремительного ускорения

Таблица 1

Пример получаемых центростремительных ускорений

№ измерения	$a_{cs}, \text{M/c}^2$	
	$w = 75 \text{ град/с}$	$w = 110 \text{ град/с}$
1	0,447356591746211	0,701908128336072
2	0,519781205803156	0,353001108020544
...	...	...
125	0,244447989016771	0,697933746874332
...	...	...

По данным из табл. 1 построены графики измеренного центростремительного ускорения на поворотном стенде МПУ-1 (рис. 2).

Из рис. 1 видно, что графики не постоянные и подвержены шумовым воздействиям. Был выполнен расчет вышеуказанных параметров для двух значений угловой скорости. Данные приведены в табл. 2 и соответствуют угловой скорости 75 град/с.

Таблица 2

Пример расчета данных

Параметры	Рассчитанные данные
$\bar{a}$	0,32667021
$\Delta a_1$	0,120686381886388
...	...
$\Delta a_{236}$	-0,051396864914661
....	....
$\chi^2$	26,74681958

По рассчитанным данным (см. табл. 2) построены гистограммы распределения погрешности замеров (рис. 2, 3). Пограничные данные ввиду своего небольшого значения были совмещены и получено меньшее количество интервалов.

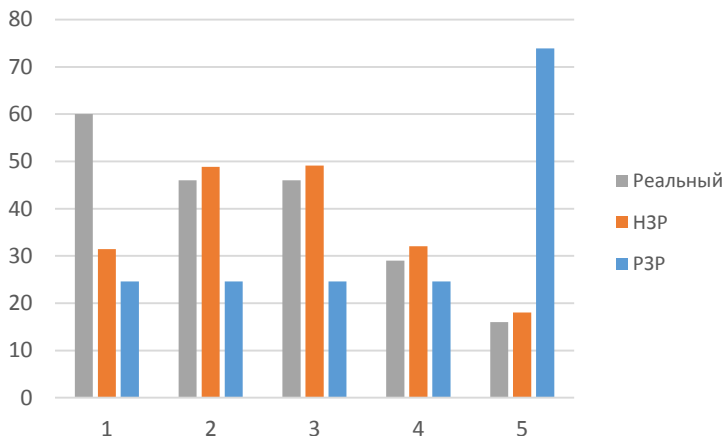


Рис. 2. Гистограмма распределения погрешностей замеров при  $w = 75$  град/с

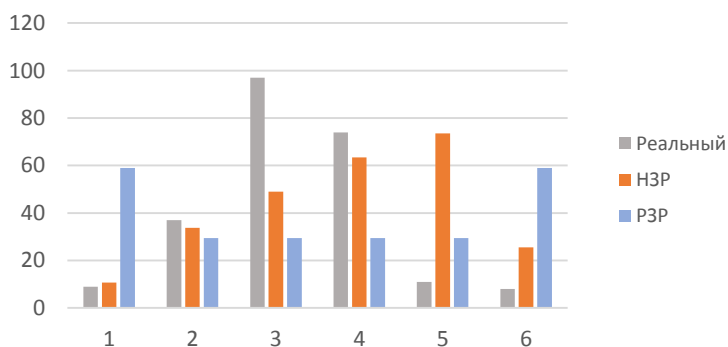


Рис. 3. Гистограмма распределения погрешностей замеров при  $w = 110$  град/с

Согласно критерию  $\chi^2$  измерения не соответствуют нормальному или равномерному закону распределения [2, 3]. В дальнейших исследованиях применяется проверка на иные законы распределения, например, закон Релея.



### Библиографический список

1. Леготкина Т.С., Данилова С.А. Моделирование систем управления. – 2008.
2. Поляков К.Ю. Предельные возможности сглаживания непрерывных случайных сигналов с помощью непрерывно-цифровых фильтров // Навигация и управление движением. – 2002. – С. 196–203.
3. Волковой М.С. Метрология стандартизация и сертификация. Электрорадиоизмерения: методические указания к лабораторным работам. – 2009 – 57 с.

### Сведения об авторах

**Мухаметсафин Руслан Тахирович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. СРРС-22-1б, г. Пермь, e-mail: muhametsafin.r@yandex.ru

**Гарипова Мария Альфритовна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, магистрант кафедры «Лазерные измерительные и навигационные системы» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета; инженер-исследователь Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: garipovamaria@gmail.com

**Сторожев Сергей Александрович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: sastorozhev@pstu.ru

**Гаркушин Алексей Алексеевич** – ассистент кафедры «Общая физика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; заместитель директора научно-образовательного центра по проектам Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: garkushin@pnppk.ru

**Д.Я. Раковская**

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», Пермь

## **УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ «ЛИЧНЫЙ КАЛЕНДАРЬ ПРИВИВОК»**

Исследуется применение методики управления рисками для управления программными проектами. Управление рисками программных проектов обеспечивает качество программных проектов и минимизирует негативное влияние рисков на проект. Описаны способы выявления рисков программных проектов. Проведено сравнение способов выявления рисков программных проектов. На примере системы «Личный календарь прививок» показано выявление рисков и формирование финального реестра рисков.

**Ключевые слова:** управление рисками, управление проектом, выявление рисков.

**D.Ia. Rakovskaia**

National Research University “Higher School  
of Economics”, Perm

## **SOFTWARE PROJECTS RISK MANAGEMENT USING THE SYSTEM “PERSONAL VACCINATION CALENDAR” AS AN EXAMPLE**

This article examines the application of risk management techniques to software project management. Software projects risk management ensures the quality of software projects and minimizes the negative impact of risks on the project. Methods for identifying risks in software projects are described. A comparison of methods for identifying risks in software projects is carried out. The identification of risks and the formation of the final risk register is shown using the system «Personal Vaccination Calendar» as an example.

**Keywords:** risk management, project management, risk identification.

Управление рисками является важной составляющей управления проектами в целом. Согласно Microsoft Solution Framework, риск проекта понимается достаточно широко – как различное событие или условие, которое может оказать как позитивное, так и негативное влияние на ито-

ги проекта [1]. Сергей Архипенков определяет риск как еще не возникшую проблему, а проблему как материализовавшийся риск [2]. Риски могут возникнуть на любом этапе жизненного цикла продукта: от планирования до эксплуатации. Управление рисками нацелено на максимизацию положительного влияния рисков на проект и минимизацию убытков, связанных с рисками. Процесс управления рисками MSF определяет 6 логических этапов. Данные этапы представлены на рисунке.



Рис. Этапы управления рисками MSF

Система «Личный календарь прививок» позволяет пользователю вести календарь прививок, а именно: добавлять, редактировать, удалять прививки и отмечать уже сделанные прививки.

В качестве методов выявления рисков данного проекта были выбраны: SWOT-анализ, диверсионный анализ, диаграмма Ишикавы, карточки Кроуфорда, причинно-следственная диаграмма, бенчмаркинг, мозговая атака на доске, список рисков Барри Боэма.

Наибольшее количество идей потенциальных рисков удалось сгенерировать при помощи мозговой атаки на доске. Суть мозгового штурма заключается в свободном предложении участниками различных ответов на поставленный вопрос за ограниченное время. Для выявления рисков проекта «Личный календарь прививок» был выбран вопрос: «Почему веб-приложение “Личный календарь прививок” не будет работать?».

Список рисков Барри Боэма позволил выявить риски, ранее не предложенные в рамках других методов. Данный список состоит из 10 наиболее распространенных рисков программных проектов:

- 1) дефицит специалистов;
- 2) нереалистичные сроки и бюджет;
- 3) реализация несоответствующей функциональности;
- 4) разработка неправильного пользовательского интерфейса;

5) золотая сервировка, перфекционизм, ненужная оптимизация и оттачивание деталей;

6) непрекращающийся поток изменений;

7) нехватка информации о внешних компонентах, определяющих окружение системы или вовлеченных в интеграцию;

8) недостатки в работах, выполняемых внешними (по отношению к проекту) ресурсами;

9) недостаточная производительность получаемой системы;

10) разрыв в квалификации специалистов разных областей знаний [3].

Достаточно результативным методом выявления рисков оказался бенчмаркинг. Данный метод направлен на изучение особенностей существующих решений конкурентов. В качестве существующего решения было выбрано мобильное приложение «Прививки – личный календарь», разработанное под управлением Ростеха. В результате удалось выявить не только риски, но и изменения и нововведения, связанные с разрабатываемым программным продуктом.

Стоит отметить, что выявление рисков выполнялось в качестве индивидуального задания, что повлияло на результаты, полученные при помощи карточек Кроуфорда и мозговой атаки на доске, так как данные методы предполагают групповую работу. При работе в группе при помощи данных методов вполне возможно было выявить большее количество более разнообразных рисков.

Наиболее наглядными методами являются диаграмма Ишикавы, причинно-следственная диаграмма, карточки Кроуфорда и мозговая атака на доске. Визуальная составляющая данных методов дает возможность быстро выделить финальные риски.

Также быстро выделять финальные риски удастся благодаря методам, предполагающим разделение выдвинутых предложений на категории. К таким методам относятся диаграмма Ишикавы и список рисков Барри Бозма.

В целом риски, выявленные для программного проекта «Личный календарь прививок» разными методами, различались несильно. Таким образом, в реестр рисков было занесено 16 различных рисков.

Для каждого риска в реестре рисков описываются следующие характеристики: ID, приоритет риска, категория риска, исходная причина риска, условие реализации риска, последствия реализации риска, ущерб от реализации риска, вероятность реализации риска, влияние риска, общая оценка риска, владелец риска, триггер реализации риска,

план предотвращения реализации риска, план реагирования на реализацию риска, мониторинг риска.

Приоритет риска определялся в соответствии с общей оценкой риска. Общая оценка рассчитывалась как произведение оценки вероятности реализации риска на оценку влияния риска. Вероятность оценивалась по шкале от 1 до 3, влияние оценивалось по шкале от 1 до 4. Максимальная общая оценка риска в реестре составила 12, минимальная общая оценка составила 2. Приоритету «С» соответствовала общая оценка риска от 1 до 3, приоритету «В» – общая оценка от 4 до 6, приоритету «А» – общая оценка от 8 до 12. Таким образом, первые 5 рисков соответствовали приоритету «А», следующие 5 рисков соответствовали приоритету «В» и оставшиеся 6 рисков соответствовали приоритету «С».

Для обеспечения удобства и быстроты работы с информацией, представленной в реестре рисков, для каждого риска определялась категория. Категория риска определялась в соответствии с классификацией рисков, согласно MSF. Данная классификация предполагает 4 общих категории рисков: люди, процессы, технологии и внешние условия, которые далее разделяются на подкатегории [4]. Самой частой категорией рисков оказалась категория «люди» и соответствующие подкатегории «персонал», «организация» и «заказчики».

По закону Парето было выделено 20 % рисков, соответственно 3 риска, для каждого из которых были прописаны по два дополнительных плана предотвращения риска и по два дополнительных плана реагирования на риск.

Риском с наибольшей общей оценкой, равной 12, и приоритетом «А» является риск «тестирование программного продукта выполнено некачественно». Данный риск относится к категории «люди», подкатегории «персонал». Причиной данного риска является недостаток людей и времени для тестирования, так как система «Личный календарь прививок» разрабатывается в рамках индивидуальной курсовой работы. Последствие, к которому может привести реализация данного риска, – потенциальные сбои в работе веб-приложения, вплоть до отказа системы. Высокие репутационные потери определены в качестве ущерба. Триггер, согласно которому данный риск считается реализованным: «В команде 0 тестировщиков, за 2 недели до сдачи работы тестирование не начато». Также были определены следующие планы предотвращения реализации риска:

– за 2 недели до начала работы над проектом и на протяжении всего времени работы над проектом обеспечить наличие в команде минимум 1 тестировщика;

– автоматизировать рутинные и повторяющиеся задачи, связанные с тестированием;

– привлечь временных тестировщиков.

Кроме того, были определены планы реагирования на реализацию риска:

– распределить тестирование между членами команды и начать его в срочном порядке;

– привлечь тестировщиков из других команд и начать тестирование;

– делегировать обязанности тестировщика на члена команды с другой ролью.

В качестве мониторинга риска было предложено отмечать распределение ролей в команде в специальном журнале.

Таким образом, управление рисками является универсальным инструментом управления проектами в совершенно разных областях. Сформированный реестр рисков в дальнейшем будет использован для минимизации негативных последствий рисков при разработке и внедрении программного продукта «Личный календарь прививок».

### **Библиографический список**

1. MSF Risk Management Discipline. White paper, Microsoft Corporation. – 2002. – P. 5.

2. Архипенков С. Лекции по управлению программными проектами. – М., 2009. – С. 67.

3. Boehm B. Software Risk Management: Principles and Practices. – 1991. – P. 429.

4. MSF Risk Management Discipline. White paper, Microsoft Corporation. – P. 19–20.

### **Сведения об авторе**

**Раковская Дарья Яновна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-21-3, г. Пермь, e-mail: dyarakovskaya@edu.hse.ru

**А.Д. Джейранян**

Пермский филиал Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики», Пермь

## **ИМИТАЦИЯ АНКЕТИРОВАНИЯ КРОУФОРДА ПОСРЕДСТВОМ НЕЙРОСЕТЕВОГО ЧАТ-БОТА**

Исследуется возможность генерации карточек Кроуфорда для выявления рисков проекта чат-ботом на базе искусственного интеллекта. Продемонстрирован процесс общения с чат-ботом, воспроизводящий общий ход карточного анкетирования Кроуфорда. Проведена оценка адекватности предложений модели. Сформулированы выводы о возможности использования нейросетевых технологий для воспроизведения данной методики.

**Ключевые слова:** карточки Кроуфорда, идентификация рисков, нейронная сеть, чат-бот, искусственный интеллект.

**A.D. Dzheiranian**

Perm Branch of the National Research  
University "Higher School of Economics", Perm

## **IMITATION OF CRAWFORD'S SURVEY THROUGH A NEURAL NETWORK CHATBOT**

This article explores the possibility of generating Crawford cards to identify project risks by a chatbot based on artificial intelligence. The process of communicating with a chatbot, reproducing the general course of Crawford's card survey, is demonstrated. An assessment of the adequacy of the model's proposals has been carried out. The article concludes with conclusions about the possibility of using neural network technologies to reproduce this methodology.

**Keywords:** Crawford cards, risk identification, neural network, chatbot, artificial intelligence.

Обогащение современных чат-ботов нейросетевыми алгоритмами делает их передовыми представителями технологии искусственного интеллекта (ИИ). Благодаря способности анализировать источники, поддерживать диалог и автоматически генерировать осмысленные тексты, они предоставляют возможность автоматизации разнообразного спектра задач.

Так как нейронные сети могут применяться с целью оптимального принятия решений, рассмотрим возможность их использования для выявления рисков конкретного проекта, применив анкетирование Кроуфорда – письменную разновидность мозгового штурма. Данный метод позволяет добиться анонимности участников мероприятия в силу записи идей на карточках и отсутствия их циркуляции среди участников [1]. Процедура выявления рисков данным методом имеет следующую последовательность:

1. Собирается группа экспертов из 7–10 человек. Ведущим дается четкое определение предмета штурма.

2. Ведущий задает вопрос: «Какой наиболее важный риск в этом проекте?».

3. Участники записывают свои идеи на карточках, стараясь дать точную формулировку высказываемого риска.

4. Шаги 2–3 повторяются  $n$ -е количество раз (в зависимости от правил конкретного штурма). Каждый ответ отдельного участника должен быть уникальным и не может повториться.

5. В заключение все карточки собираются и сортируются на классы.

Вопреки определению данного метода о необходимости наличия группы экспертов попробуем воссоздать данную методологию, обучив чат-бот генерации карточек. Для чистоты эксперимента было решено в точности симитировать процесс анкетирования, начав с введения всей необходимой информации о проекте и закончив группировкой рисков по схожести характеристик.

**Выбор чат-бота.** Выбор осуществлялся между чат-ботами Bing AI и ChatGPT, основанными на алгоритме GPT (Generative Pre-trained Transformer, генеративный предобученный трансформер). Тем не менее предпочтение было отдано Bing AI в силу его преимущества в ежедневном обновлении данных и в наличии в своей основе новейшей языковой модели GPT-4.

**Процесс общения с чат-ботом.** Для извлечения качественной информации из общения с чат-ботом заранее сформулируем обучающий запрос, предоставляя в нем весь необходимый контекст: количество экспертов, тему проекта, цель мозгового штурма и последовательность шагов, которая должна быть выполнена в процессе анкетирования.

Для того чтобы упростить языковые формулировки задаваемых правил дальнейшего штурма и не допустить двойственность смысла



обучающего запроса, чат-боту была дана инструкция представить себя не несколькими экспертами одновременно, а ведущим анкетирования Кроуфорда, в котором принимает участие группа экспертов. Запрос принял форму, представленную на рис. 1.

Представь, что ты ведущий анкетирования Кроуфорда. Перед тобой группа экспертов, состоящая из 9 человек. Шаг 1: ты вводишь экспертов в тему штурма: выявление рисков проекта "Проектирование средств визуализации данных, основанных на языково-ориентированном подходе". В ходе данного проекта должен быть реализован исследовательский прототип программных средств, основанных на использовании предметно-ориентированных языков для описания данных и способа их визуализации при решении задач пользователей. Шаг 2: ты раздаешь 3 карточки каждому эксперту и последовательно задаешь 3 вопроса: "какой первый/второй/третий самый главный риск проекта". Шаг 3: Затем ты собираешь 27 карточек (каждый из 9 экспертов ответил на 3 вопроса). Предоставь мне отчет по ответам каждого эксперта в формате "Эксперт №: Ответ 1: Ответ 2: Ответ 3"

Рис. 1. Обучающий запрос

Следующим шагом стал выбор стиля беседы из предоставляемых чат-ботом трех вариантов: более творческий, более сбалансированный, более точный.

При попытке диалога в «более творческом» стиле чат-бот утверждал, что генерация карточек выходит за рамки его возможностей, и предоставил лишь общую информацию о методе анкетирования Кроуфорда и о выявлении рисков (рис. 2).

Здравствуйте, это Bing. Я рад помочь вам с вашим заданием по анкетированию Кроуфорда. Я нашел несколько полезных источников по теме штурма: выявление рисков проекта "Проектирование средств визуализации данных, основанных на языково-ориентированном подходе". Вы можете посмотреть их по ссылкам ниже:

- [Что такое метод анкетирования Кроуфорда?](#)
- [Метод анкетирования Кроуфорда \(CSM\)](#)
- [Метод анкетирования Кроуфорда: техника развития организационных](#)
- [Метод анкетирования Кроуфорда: обзор литературы](#)

Для начала, я предлагаю вам прочитать статью "[Метод анкетирования Кроуфорда: обзор](#)"

Рис. 2. Неудачная попытка генерации карточек

После последующих неудачных попыток обучить нейросеть в данном режиме было принято решение очистить чат и перейти в «более сбалансированный» стиль диалога. Данный переход с сохра-

нением формулировки обучающего запроса (см. рис. 1) обеспечил генерацию ответов экспертов, представленную на рис. 3. Однако была замечена следующая закономерность: начиная с четвертого эксперта, риски начали повторяться. То есть уникальные карточки были сгенерированы только первыми тремя экспертами, а далее были повторы. Несомненно, при мозговом штурме может наблюдаться совпадение идей, однако в нашем случае очевидно, что произошла ошибка обучения чат-бота и необходимо скорректировать обучающий запрос.

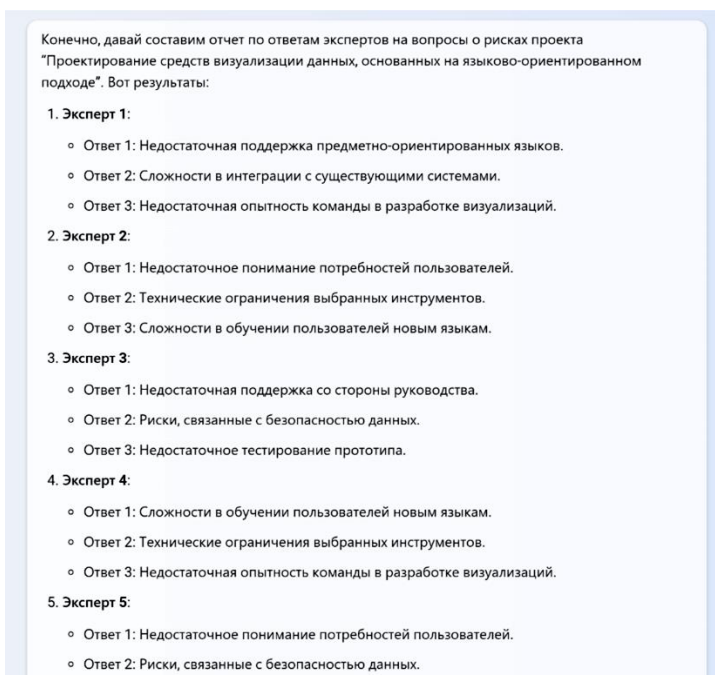


Рис. 3. Фрагмент сгенерированных карточек

Не заканчивая текущую сессию, отправляем новый запрос: «Ответы каждого эксперта должны быть уникальными». На что чат-бот повторяет предыдущий ответ. Воспроизводим еще одну попытку получения от бота уникальных ответов, отправив более конкретное указание на необходимость разнообразия идей. Однако нейросеть вновь в точности повторяет ответ.

Стоит отметить, что за одну сессию общения с чат-ботом рекомендуется ограничиваться количеством сообщений, равным пяти, чтобы предотвратить запутывание модели долгими и сложными диалогами.

Было принято решение очистить чат и провести третью итерацию обучения, перейдя на «более точный» стиль беседы и видоизменив первоначальный инструкт с целью получения более узконаправленных рисков, касающихся проекта. Для этого был добавлен контекст о сроках проекта и группе разработки, необходимых функциональных возможностях. Также была добавлена информация про разнообразный опыт экспертов, чтобы избежать «зацикливания» генерации уникальных рисков (рис. 4).

Представь, что ты ведущий анкетирования Кроуфорда. Перед тобой группа экспертов, состоящая из 9 человек. Шаг 1: ты вводишь экспертов в тему мозгового штурма: выявление главных рисков проекта "Проектирование средств визуализации данных, основанных на языково-ориентированном подходе". В ходе данного проекта должен быть реализован исследовательский прототип программных средств, основанных на использовании предметно-ориентированных языков для описания данных и способа их визуализации при решении задач пользователей. Срок выполнения проекта: 1 год. Группа разработки: 1 человек. Дополнительные условия проекта: научная новизна, возможность интерактивной настройки диаграмм под запросы пользователя. Шаг 2: Ты, будучи ведущим, раздаешь 3 карточки каждому эксперту и последовательно задаешь 3 вопроса: "какой первый/второй/третий самый главный риск проекта". Шаг 3: Ты делаешь паузу, чтобы они ответили на вопросы. Шаг 4: Ты собираешь 27 карточек (каждый из 9 экспертов ответил на 3 вопроса). Предоставь мне отчет по ответам каждого эксперта в формате "Эксперт №: Ответ 1: Ответ 2: Ответ 3". Учтывай факт того, что у каждого эксперта разный профессиональный опыт и багаж знаний. В ходе штурма они генерируют разнообразные идеи. То есть формулировки рисков не могут быть одинаковыми среди экспертов, но могут подразумевать один и тот же риск.

Вот отчет по ответам каждого эксперта:

**Эксперт №1:**

- Ответ 1: Недостаток времени для реализации проекта.
- Ответ 2: Отсутствие опыта в работе с предметно-ориентированными языками.
- Ответ 3: Трудности в создании интерактивной настройки диаграмм.

**Эксперт №2:**

- Ответ 1: Риск не достичь научной новизны.
- Ответ 2: Проблемы с реализацией исследовательского прототипа.
- Ответ 3: Недостаточная квалификация разработчика.

**Эксперт №3:**

- Ответ 1: Сложности в описании данных и способа их визуализации.
- Ответ 2: Невозможность выполнить проект в срок из-за его сложности.
- Ответ 3: Риск неправильного понимания задач пользователей.

**Эксперт №4:**

Рис. 4. Скорректированный обучающий запрос и фрагмент последующего ответа

Наконец нейросеть корректно сгенерировала записи экспертов о рисках проекта. И после отправки запроса о необходимости кластеризации карточек по схожести формулировок был получен список 20 уникальных категорий рисков, представленный на рис. 5.

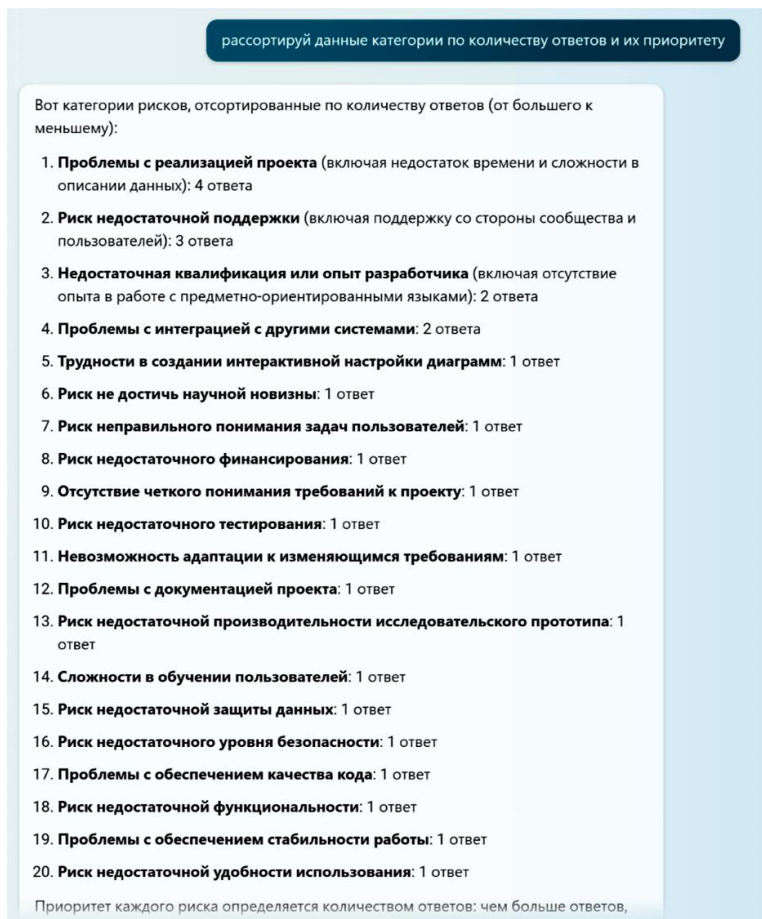


Рис. 5. Категории сгенерированных рисков

**Оценка предложений чат-бота.** При ознакомлении со сгенерированными рисками создается впечатление, что они объективны и имеют вероятность возникновения в проекте. Однако для объектив-

ной оценки адекватности предложений модели выполним их сравнительный анализ со списком 10 основных источников рисков высшего уровня, определенных в экспертном чек-листе Барри Боэма, основанном на опросе опытных менеджеров проектов [2]. Формулировки аналогичных рисков представлены в таблице.

#### Сравнение аналогичных рисков экспертного чек-листа и чат-бота

№	Элемент риска из экспертного чек-листа	Категория, сгенерированная чат-ботом
1	Дефицит специалистов	–
2	Нереалистичные сроки и бюджет	Проблемы с реализацией проекта (п. 1) Риск недостаточного финансирования (п. 8)
3	Реализация несоответствующей функциональности	Риск неправильного понимания задач пользователей (п. 7) Риск недостаточной функциональности (п. 18)
4	Разработка неправильного пользовательского интерфейса	Риск недостаточной удобности использования (п. 20)
5	Ненужная оптимизация и оттачивание деталей	–
6	Непрекращающийся поток изменений	Невозможность адаптации к изменяющимся требованиям (п. 11)
7	Нехватка информации о внешних компонентах, определяющих окружение системы или вовлеченных в интеграцию	Проблемы с интеграцией с другими системами (п. 4)
8	Недостатки в работах, выполняемых внешними (по отношению к проекту) ресурсами	–
9	Недостаточная производительность получаемой системы	Риск недостаточной производительности (п. 13) Проблемы с обеспечением стабильности работы (п. 19)
10	Разрыв в квалификации специалистов разных областей знаний	Недостаточная квалификация или опыт разработчика (п. 3)

Становится понятно, что часть предложений, сгенерированных моделью, в некоторой степени совпала с семью из десяти рисков вышеупомянутого чек-листа. Несовпадающая часть рисков чат-бота также обладает вероятностью на образование в проекте.

**Заключение.** На основе проделанного анализа практических особенностей взаимодействия с чат-ботом можно сделать вывод, что при

грамотном следовании принципам общения и поддержания диалога, предоставлении нужного и достаточного контекста чат-боту, он может быть использован в качестве надежного и удобного инструмента генерации карточек Кроуфорда. Кроме того, инструмент в виде чат-бота на базе ИИ не уступает другим источникам получения информации о рисках проекта.

### **Библиографический список**

1. Андерсен Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования. – 2008. – С. 127.
2. Boehm B.W. Software risk management: principles and practices // IEEE software. – 1991. – Vol. 8, № 1. – P. 32–41.

### **Сведения об авторе**

**Джейранян Анна Даниеловна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-21-1, г. Пермь, e-mail: addzheyranyan@edu.hse.ru

**Ю.А. Безукладников<sup>1</sup>, П.А. Плотников<sup>1</sup>,  
Я.Д. Шеин<sup>1</sup>, А.А. Наборщиков<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь  
<sup>2</sup>ОДК-СТАР, Пермь

## **МОДЕЛЬ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ РАЗРЯДНОСТИ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В СРЕДЕ SIMULINK MATLAB**

Представлена упрощенная модель самонастраивающегося аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети, созданная в среде математического моделирования Simulink MatLab. Приведено описание разработанной модели, поставлены цель и задачи исследования. С помощью модели получены результаты измерения входного сигнала разной частоты и влияние разрядности аналого-цифрового преобразователя на качество измерения, проведен анализ полученных результатов и описано дальнейшее развитие работы.

**Ключевые слова:** самонастраивающийся аналого-цифровой преобразователь на основе нейронной сети, цифро-аналоговый преобразователь, матрица R-2R, математическое моделирование, Simulink.

**Yu.A. Bezukladnikov<sup>1</sup>, P.A. Plotnikov<sup>1</sup>,  
Y.D. Shein<sup>1</sup>, A.A. Naborshchikov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm  
<sup>2</sup>ODK-STAR, Perm

## **THE MODEL OF VARIABLE-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER BASED ON NEURAL NETWORK CREATED IN THE SIMULINK MATLAB MATHEMATICAL MODELING ENVIRONMENT**

A model of a variable-bit analog-to-digital converter based on a neural network in the Simulink MATLAB environment. The article presents a simplified model of a self-routing analog-to-digital converter based on a neural network, created in the Simulink MATLAB mathematical modeling environment. The description of the developed model is given, the purpose and the objectives of the study are set. Using the model, the results of measuring the input signal of different frequencies and the effect of the analog-to-

digital converter bit rate on the measurement quality were obtained, the analysis of the obtained results was carried out and the further development of the work was described.

**Keywords:** analog-to-digital converter, digital-to-analog converter, R-2R matrix, mathematical modeling, Simulink.

В настоящее время в мире появляется всё больше цифровых устройств, которые улучшают жизнь как отдельно взятого человека, который использует простые бытовые приборы, такие как весы, дальнометры и т.д., так и цивилизации, которой необходимы самолеты, электростанции различного типа, производственные предприятия и т.д. В таких устройствах большую роль играет точность в измерениях физических величин и используемые в цифровых системах аналоги, получаемые путём измерения. Цифровые системы получают информацию об объекте управления благодаря датчикам, которые формируют аналоговые электрические сигналы (напряжение, ток, частота), которые обрабатываются аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и преобразуются в цифровой код [1].

Основную роль в точности измерения играют датчики, линии связи и непосредственно АЦП. В рамках статьи речь будет идти исключительно об АЦП поразрядного взвешивания (последовательного приближения). Основными характеристиками АЦП являются: разрядность, частота обработки сигналов, отказоустойчивость и многоканальность [2]. В настоящее время широко распространены  $n$ -канальные АЦП с константной разрядностью, позволяющие проводить одновременное измерение  $n$  сигналов, что накладывает ограничения на вариативность их использования. В случаях, когда необходимо одновременно измерять два сигнала, но один с частотой  $x$  и разрядностью  $y$ , а другой с частотой  $2x$  и разрядностью  $y/2$ , придется использовать два разных АЦП с соответствующими характеристиками. Одним из вариантов решения такой проблемы является применение самомаршрутизирующегося АЦП на основе нейронной сети (САЦП НС) [3], который в том числе позволяет повысить отказоустойчивость системы за счет использования дополнительных связей между нейронами внутри сети. Для определения отказов в нейронной сети разработаны алгоритмы самодиагностики, которые позволяют осуществлять диагностику измерительной части одних нейронов с помощью других [4]. При этом разработанные алгоритмы вносят определенные задержки в работу САЦП НС, что потребует увеличения количества нейронов в сети для



сохранения частотных характеристик измерения, а значит необходимо получить вероятностно-временные характеристики САЦП НС с учетом алгоритмов самодиагностики.

Первым шагом к достижению поставленной цели является разработка модели АЦП, которая позволяет проводить реконфигурацию измерительной части, что сказывается на скорости и точности измерения. Для проектирования использовалась среда моделирования MatLab Simulink, позволяющая совмещать математическое моделирование с физическими или электрическими цепями, что позволит реализовать алгоритмы самодиагностики, не углубляясь в схемотехническое моделирование. Такой подход позволит оценить влияние предложенных методов самодиагностики на вероятностно-временные характеристики работы САЦП НС, скорректировать их в случае необходимости и только после получения необходимых параметров приступить к реализации на физическом уровне. Эта модель является упрощённой моделью САЦП НС, представленной в работе [5] и разработана для исследования вероятностно-временных характеристик САЦП НС, зависящих от типа сигнала и разрядности измерения. Также в работе рассматривается математическая модель конвертера синусоидального сигнала. Внутренний блок Simulink позволяет задавать сигнал синусоиды с разной частотой, а конвертор преобразует сигнал синусоиды в аналоговое напряжение.

Данная модель в будущем позволит разделить САЦП НС на две части, которые будут работать независимо друг от друга. Одна из частей будет считывать показания, а оставшаяся часть будет проверять данные расчётов. Таким образом, модель будет представлять из себя самодиагностирующийся САЦП НС, которому не требуются внешние сигналы для проверки. На рис. 1 представлена модель 10-разрядного АЦП [6].

Для того чтобы выходной сигнал задавался корректно, от 0 до 12 в десятичной системе счисления, используется масштабирование:

$$\frac{u}{12} (2^{10}). \quad (1)$$

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) и устройство выборки и хранения (УВХ) обеспечивают генерацию и хранение электрического входного сигнала во время аналого-цифрового преобразования. АЦП состоит из 10 нейронов, каждый из которых представ-

ляют собой одноразрядный АЦП (рис. 2) и состоит из резистора  $R$ , резистора  $2R$ , балансного сопротивления  $R$  и ключа для реконфигурации.

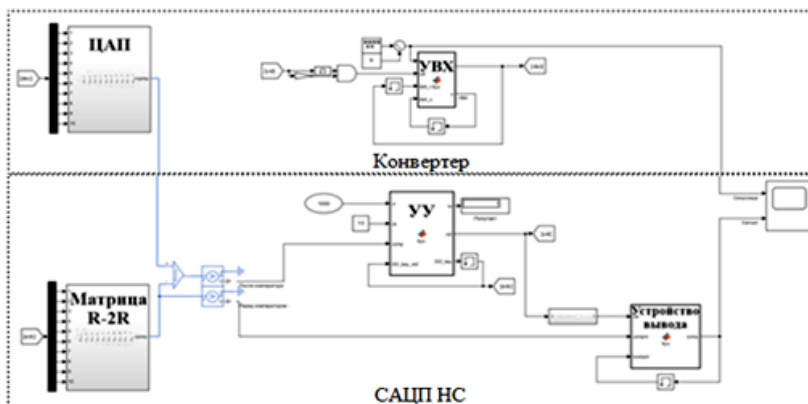


Рис. 1. Модель САЦП НС в среде MatLab Simulink

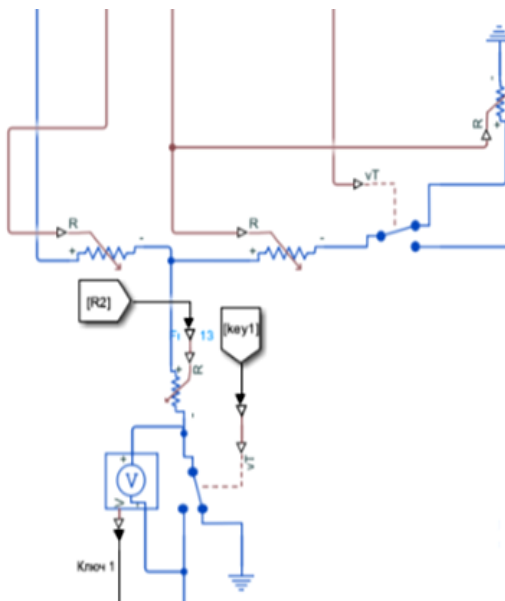


Рис. 2. Модель нейрона в САЦП НС, звено матрицы R-2R

Старшим разрядом в цепи является первый нейрон ( $i = 1$ ), младшим разрядом может быть любой ( $j = 1 \dots n$ ), такую структуру НС можно представить в виде луча с одним начальным нейроном и любым конечным. Устройство управления (УУ) в каждый момент времени меняет состояние ключей в нейронах так, чтобы уравнивающий сигнал не превышал входной и был максимально близким к входному. При принятии решения о состоянии ключей УУ опирается на сигнал компаратора, который выполняет сравнение входного и уравнивающего сигналов. Таким образом, САЦП НС реализует метод поразрядного взвешивания.

Из результатов моделирования (рис. 3) видно, что при измерении «высокочастотного» (частота входного сигнала сопоставима или больше частоты измерения) входного сигнала 10-разрядным АЦП форма измеренного сигнала не повторяет входной сигнал ввиду недостаточной скорости измерения.

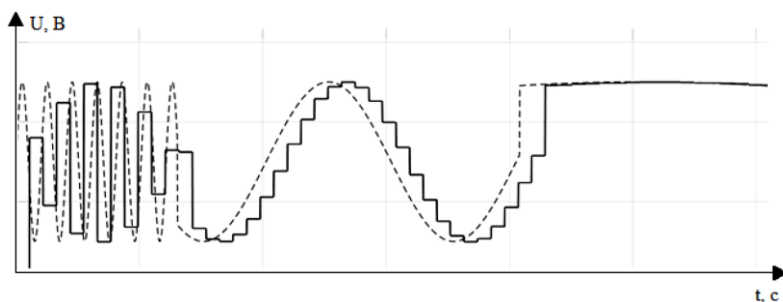


Рис. 3. Работа САЦП НС 10 разрядов для частот синусоиды 0,3, 0,03 и 0,003 Гц

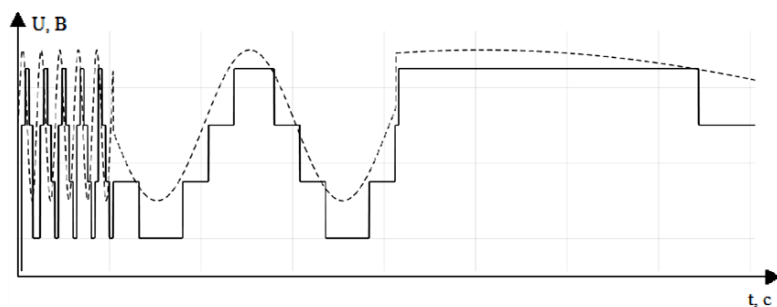


Рис. 4. Работа САЦП НС 3 разрядов для частоты синусоиды 0,3, 0,03 и 0,003 Гц

При аналогичном измерении 3-разрядным АЦП (рис. 4) система ведет себя противоположным образом: погрешность измерения довольно большая, но сохраняется форма входного сигнала за счет уменьшения времени измерения путем понижения разрядности. Это позволяет отследить быстрые изменения входного сигнала.

При использовании алгоритма, который анализирует входной сигнал и подстраивает частоту под оптимальную, получен график, представленный на рис. 5.

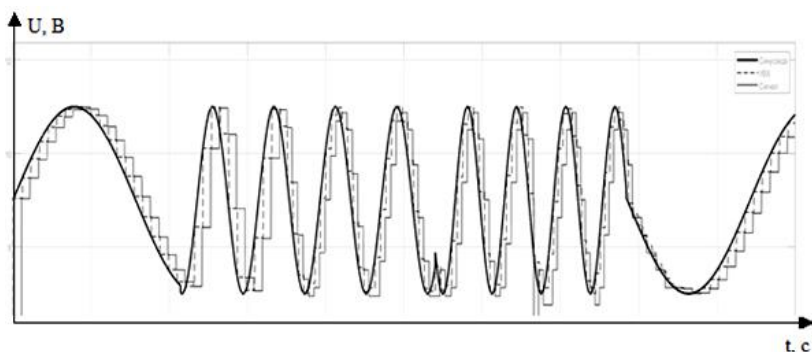


Рис. 5. Работа САЦП НС с алгоритмом оптимизации количества разрядов

Результатом проделанной работы стала математическая модель 10-разрядного АЦП, который может обрабатывать входной сигнал (синусоиду) и менять количество разрядов в зависимости от частоты синусоиды.

При повышении частоты синусоиды результат измерения будет менее точным, но позволит отслеживать ее форму. При понижении частоты синусоиды результат измерения будет более точным за счет возможности увеличения времени измерения. Также возможно увеличение несущей частоты преобразователя, что позволит точно обрабатывать высокочастотные сигналы, этот параметр на практике будет зависеть от элементной базы, на которой будет реализован САЦП НС, и не входил в рамки данного исследования.

Полученная модель позволяет исследовать вероятностно временные характеристики САЦП НС с учетом изменяемой разрядности

преобразования и объединять необходимое количество нейронов в АЦП в зависимости от скорости изменения входного сигнала. В дальнейшем планируется доработать модель таким образом, чтобы при инициализации процедуры самодиагностики часть нейронов генерировала входной сигнал, а вторая часть уравнивающий, это позволит оценить временную задержку на самодиагностику по сравнению со временем измерения.

Также требуется обеспечить возможность измерения не одного входного сигнала, а нескольких, используя тот же массив НС параллельно, для этого в модель будет добавлена возможность выбирать не только нейрон, отвечающий за младший разряд, но и за старший.

### **Библиографический список**

1. Магеррамов Р.В. Аналого-цифровое преобразование // Молодой ученый. – 2017. – № 2. – С. 152–155.

2. Никульников Н.Д. Устройство аналого-цифрового преобразования // Тенденция развития науки и образования. – 2023. – № 96-8. – С. 176–179.

3. Посягин А.И., Южаков А.А. Внутренняя структура основного нейрона в самомаршрутизирующемся аналого-цифровом преобразователе на основе нейронной сети // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2014. – № 12. – С. 36–40.

4. Елтышев А.В., Посягин А.И., Южаков А.А. Анализ имитационной модели самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2015. – № 10. – С. 21–25.

5. Посягин А.И., Южаков А.А. Самомаршрутизация сигналов в аналого-цифровом преобразователе на основе нейронной сети // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – Т. 57, № 5. – С. 38–43.

6. 10-разрядный АЦП последовательного приближения со схемой коррекции УВХ / К.Д. Любавин, К.А. Дубовицкий, И.В. Ермаков, И.А. Зубов, А.В. Нуйкин // Интеллектуальные системы и микросистемная техника. – 2021. – С. 131–139.

### **Сведения об авторах**

**Безукладников Юрий Алексеевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. СТАР-22-1б, г. Пермь, e-mail: byury2004@mail.ru

**Плотников Павел Андреевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. СТАР-22-1б, г. Пермь, e-mail: vip.pata@bk.ru

**Шеин Ярослав Денисович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. СТАР-22-1б, г. Пермь, e-mail: sheinyarik04@gmail.com

**Наборщиков Антон Алексеевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета; ведущий инженер-конструктор, ОДК-СТАР, г. Пермь, e-mail: anton.naborshikov@gmail.com

**А.Д. Джейранян, М.А. Плаксин**

Пермский филиал Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики», Пермь

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО  
ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РИСКОВ В ПРОГРАММНОМ  
ПРОЕКТЕ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

Исследуется возможность генерации карточек Кроуфорда для выявления рисков проекта чат-ботом на базе искусственного интеллекта. Продемонстрирован процесс общения с чат-ботом, воспроизводящий общий ход карточного анкетирования Кроуфорда. Проведена оценка адекватности предложений модели. В финале статьи сформулированы выводы о возможности использования нейросетевых технологий для воспроизведения данной методики.

**Ключевые слова:** карточки Кроуфорда, идентификация рисков, нейронная сеть, чат-бот, искусственный интеллект.

**A.D. Dzheiranian, M.A. Plaksin**

Perm Branch of the National Research  
University “Higher School of Economics”, Perm

**APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE TO IDENTIFY RISKS IN A SOFTWARE  
PROJECT: EXPERIMENTAL STUDY**

This article explores the possibility of generating Crawford cards to identify project risks by a chatbot based on artificial intelligence. The process of communicating with a chatbot, reproducing the general course of Crawford’s card survey, is demonstrated. An assessment of the adequacy of the model’s proposals has been carried out. The article concludes with conclusions about the possibility of using neural network technologies to reproduce this methodology.

**Keywords:** Crawford cards, risk identification, neural network, chatbot, artificial intelligence.

Описан опыт применения генеративного искусственного интеллекта (ГИИ) для выявления рисков в программном проекте. А именно: применение чат-бота Bing AI [1] для выявления рисков проекта «Проектирование средств визуализации данных, основанных на язы-

ково-ориентированном подходе». Содержание проекта в данном случае роли не играет. Нас будет интересовать именно процесс применения ГИИ. Содержание проекта нас будет интересовать только в одном аспекте: нам надо будет сообщить его описание чат-боту для того, чтобы ввести его в курс дела, настроить на работу именно с нашим проектом. Управление программным проектом включает в себя управление рисками [2]. Первый этап управления рисками – это выявление рисков проекта. Один из методов выявления рисков – метод карточек Кроуфорда [3].

Метод карточек Кроуфорда является разновидностью мозгового штурма. Выглядит он следующим образом. Формируется группа экспертов (7–10 человек). Каждый из них получает пачку перенумерованных карточек. На первой карточке каждый эксперт записывает риск, который он считает самым главным для проекта. Карточки собирает ведущий. После этого на второй карточке каждый эксперт записывает самый главный из оставшихся рисков (второй по значимости риск). Карточки опять собирает ведущий. И так далее оговоренное количество раз. После чего проводится обсуждение и группирование рисков. Один и тот же риск разные эксперты могут описывать разными словами. Эти факты выявляются в процессе обсуждения. Совпадающие и близкие риски группируются. Физически это выражается в том, что формируются так называемые аффинные диаграммы [4] – группируемые карточки скрепляются скотчем в вертикальную ленту. Длина ленты наглядно демонстрирует важность данного риска с точки зрения экспертного сообщества. Сначала обсуждаются все риски первого ранга, потом – все риски второго ранга и т.д. В результате формируется набор рисков, отсортированный по важности.

Методика карточек Кроуфорда – это методика коллективной экспертизы. В нашем случае в ходе анализа рисков проекта была сделана попытка провести эту процедуру в одиночку, заменив коллектив экспертов генеративным искусственным интеллектом. А именно – чат-ботом.

**Выбор чат-бота.** В процессе исследования были опробованы 3 разных чат-бота: YandexGPT 2, ChatGPT, BING AI. Они выдавали примерно одинаковые результаты. На основании чего был сделан вывод, что имеет смысл оставить один чат-бот и сосредоточиться на обучающем запросе. В качестве такого был взят Bing AI. Выбор именно



этого чат-бота не имеет в данном случае какого-то серьезного обоснования, был проведен почти случайно.

**Процесс общения с чат-ботом.** Для извлечения качественной информации из общения с чат-ботом заранее сформулируем обучающий запрос, предоставляя в нем весь необходимый контекст: количество экспертов, тему проекта, цель мозгового штурма и последовательность шагов, которая должна быть выполнена в процессе анкетирования.

При планировании общения с чат-ботом возникла проблема, связанная коллективным характером экспертизы. Чат-бот должен был говорить от имени сразу нескольких (в нашем случае – девяти) экспертов. Возникло противоречие: надо было общаться с одним чат-ботом и при этом общаться с девятью экспертами. Разрешить это противоречие можно было тремя способами: разделение во времени, разделение в пространстве и разделение в структуре. Разделение во времени предполагало, что диалог с чат-ботом будет повторен девять раз. Причем каждый раз боту будет дано задание представить себя в роли нового эксперта.

Разделение в пространстве предполагало, что диалог будет запущен на девяти разных компьютерах с девятью экземплярами бота. Было непонятно, поведут ли себя эти девять экземпляров по-разному «сами по себе» или каждому из них придется давать какие-то свои вводные. Разделение в пространстве предполагало, что будет выстроена некая структура, которая позволяла бы общаться с одним собеседником (назначить чат-боту только одну роль), но при этом получить ответы от девяти разных экспертов.

Представь, что ты ведущий анкетирования Кроуфорда. Перед тобой группа экспертов, состоящая из 9 человек. Шаг 1: ты вводишь экспертов в тему штурма: выявление рисков проекта "Проектирование средств визуализации данных, основанных на языково-ориентированном подходе". В ходе данного проекта должен быть реализован исследовательский прототип программных средств, основанных на использовании предметно-ориентированных языков для описания данных и способа их визуализации при решении задач пользователей. Шаг 2: ты раздаешь 3 карточки каждому эксперту и последовательно задаешь 3 вопроса: "какой первый/второй/третий самый главный риск проекта". Шаг 3: Затем ты собираешь 27 карточек (каждый из 9 экспертов ответил на 3 вопроса). Предоставь мне отчет по ответам каждого эксперта в формате "Эксперт №: Ответ 1: Ответ 2: Ответ 3"

Рис. 1. Обучающий запрос

Последний вариант привлекал своей экономичностью. Именно он и был выбран. Мы воспользовались тем, что процесс экспертизы проводится коллективно и у этого процесса есть ведущий. Именно ведущий был выбран в качестве нашего собеседника. Ему было предложено провести всю процедуру «внутри чат-бота», а нам предоставить сразу ее результаты. Запрос принял форму, представленную на рис. 1.

Следующим шагом стал выбор стиля беседы из предоставляемых чат-ботом трех вариантов: более творческий, более сбалансированный, более точный. При попытке диалога в «более творческом» стиле чат-бот утверждал, что генерация карточек выходит за рамки его возможностей, и предоставил лишь общую информацию о теме проекта, о методе анкетирования Кроуфорда и о выявлении рисков (рис. 2).

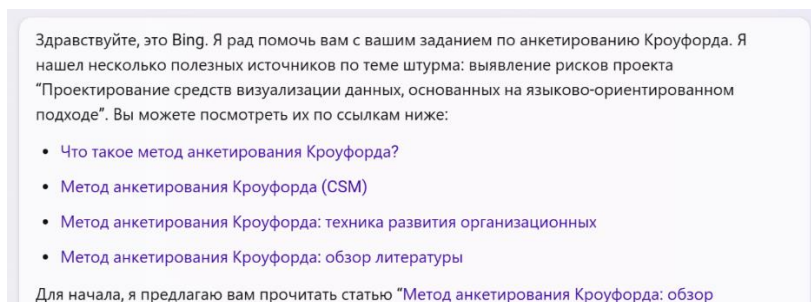


Рис. 2. Неудачная попытка генерации карточек

После ряда неудачных попыток обучить нейросеть в данном режиме было принято решение очистить чат и перейти в «более сбалансированный» стиль генерации. Данный переход с сохранением формулировки обучающего запроса (см. рис. 1) обеспечил генерацию ответов экспертов, представленную на рис. 3. Оказалось, что начиная с четвертого эксперта, риски начали повторяться. Несомненно, при мозговом штурме может наблюдаться совпадение идей, однако в нашем случае очевидно, что произошла ошибка обучения чат-бота и необходимо скорректировать обучающий запрос.

Не заканчивая текущую сессию, мы дали дополнительное уточнение: «Ответы каждого эксперта должны быть уникальными». На что чат-бот повторил предыдущий ответ. Мы дали конкретное указание обеспечить разнообразие идей. Однако нейросеть вновь в точности повторила прежний ответ.

Конечно, давай составим отчет по ответам экспертов на вопросы о рисках проекта "Проектирование средств визуализации данных, основанных на языково-ориентированном подходе". Вот результаты:

**1. Эксперт 1:**

- Ответ 1: Недостаточная поддержка предметно-ориентированных языков.
- Ответ 2: Сложности в интеграции с существующими системами.
- Ответ 3: Недостаточная опытность команды в разработке визуализаций.

**2. Эксперт 2:**

- Ответ 1: Недостаточное понимание потребностей пользователей.
- Ответ 2: Технические ограничения выбранных инструментов.
- Ответ 3: Сложности в обучении пользователей новым языкам.

**3. Эксперт 3:**

- Ответ 1: Недостаточная поддержка со стороны руководства.
- Ответ 2: Риски, связанные с безопасностью данных.
- Ответ 3: Недостаточное тестирование прототипа.

**4. Эксперт 4:**

- Ответ 1: Сложности в обучении пользователей новым языкам.
- Ответ 2: Технические ограничения выбранных инструментов.
- Ответ 3: Недостаточная опытность команды в разработке визуализаций.

**5. Эксперт 5:**

- Ответ 1: Недостаточное понимание потребностей пользователей.
- Ответ 2: Риски, связанные с безопасностью данных.

Рис. 3. Фрагмент сгенерированных карточек

Было принято решение очистить чат и провести третью итерацию обучения, перейдя на «более точный» стиль беседы и видоизменив первоначальный инструкт с целью получения более узконаправленных рисков, касающихся именно нашего проекта. Для этого был добавлен контекст о сроках проекта и группе разработки, необходимых функциональных возможностях. Также была добавлена информация про разнообразный опыт экспертов, чтобы избежать «зацикливания» генерации уникальных рисков (см. рис. 4).

Данный запрос оказался более удачным. Риски в большинстве различались. По нашей просьбе чат-бот сгруппировал карточки по схожести формулировок. Был получен список 20 уникальных категорий рисков, представленный на рис. 5.

Представь, что ты ведущий анкетирования Кроуфорда. Перед тобой группа экспертов, состоящая из 9 человек. Шаг 1: ты вводишь экспертов в тему мозгового штурма: выявление главных рисков проекта "Проектирование средств визуализации данных, основанных на языково-ориентированном подходе". В ходе данного проекта должен быть реализован исследовательский прототип программных средств, основанных на использовании предметно-ориентированных языков для описания данных и способа их визуализации при решении задач пользователей. Срок выполнения проекта: 1 год. Группа разработки: 1 человек. Дополнительные условия проекта: научная новизна, возможность интерактивной настройки диаграмм под запросы пользователей. Шаг 2: Ты, будучи ведущим, раздаешь 3 карточки каждому эксперту и последовательно задаешь 3 вопроса: "какой первый/второй/третий самый главный риск проекта". Шаг 3: Ты делаешь паузу, чтобы они ответили на вопросы. Шаг 4: Ты собираешь 27 карточек (каждый из 9 экспертов ответил на 3 вопроса). Предоставь мне отчет по ответам каждого эксперта в формате "Эксперт №: Ответ 1: Ответ 2: Ответ 3". Учитывай факт того, что у каждого эксперта разный профессиональный опыт и багаж знаний. В ходе штурма они генерируют разнообразные идеи. То есть формулировки рисков не могут быть одинаковыми среди экспертов, но могут подразумевать один и тот же риск.

Вот отчет по ответам каждого эксперта:

**Эксперт №1:**

- Ответ 1: Недостаток времени для реализации проекта.
- Ответ 2: Отсутствие опыта в работе с предметно-ориентированными языками.
- Ответ 3: Трудности в создании интерактивной настройки диаграмм.

**Эксперт №2:**

- Ответ 1: Риск не достичь научной новизны.
- Ответ 2: Проблемы с реализацией исследовательского прототипа.
- Ответ 3: Недостаточная квалификация разработчика.

**Эксперт №3:**

- Ответ 1: Сложности в описании данных и способа их визуализации.
- Ответ 2: Невозможность выполнить проект в срок из-за его сложности.
- Ответ 3: Риск неправильного понимания задач пользователей.

**Эксперт №4:**

Рис. 4. Скорректированный обучающий запрос и фрагмент последующего ответа

**Оценка предложений ГИИ.** Риски, предложенные чат-ботом, мы сравнили с классическим списком основных рисков Барри Боэма [5]. Оказалось, что 10 «наших» рисков закрывают 7 из 10 «рисков Боэма». Не закрытыми остались 3 риска: дефицит специалистов, ненужная оптимизация, недостатки в работе внешних ресурсов. Два риска были явно взяты из описания проекта (№ 5 и № 6). Остальные представляли в большей или меньшей степени «стрельбу по площадям». Актуальность их именно для нашего проекта не очевидна. Поэтому мы попросили «экспертов» обосновать свое мнение. Только одно обоснование ссылалось на характеристику именно нашего проекта: недостаток времени для реализации проекта обосновывался тем, что в команде всего один человек. Остальные обоснования представляли собой некие общие рассуждения.

рассортируй данные категории по количеству ответов и их приоритету

Вот категории рисков, отсортированные по количеству ответов (от большего к меньшему):

1. **Проблемы с реализацией проекта** (включая недостаток времени и сложности в описании данных): 4 ответа
2. **Риск недостаточной поддержки** (включая поддержку со стороны сообщества и пользователей): 3 ответа
3. **Недостаточная квалификация или опыт разработчика** (включая отсутствие опыта в работе с предметно-ориентированными языками): 2 ответа
4. **Проблемы с интеграцией с другими системами**: 2 ответа
5. **Трудности в создании интерактивной настройки диаграмм**: 1 ответ
6. **Риск не достичь научной новизны**: 1 ответ
7. **Риск неправильного понимания задач пользователей**: 1 ответ
8. **Риск недостаточного финансирования**: 1 ответ
9. **Отсутствие четкого понимания требований к проекту**: 1 ответ
10. **Риск недостаточного тестирования**: 1 ответ
11. **Невозможность адаптации к изменяющимся требованиям**: 1 ответ
12. **Проблемы с документацией проекта**: 1 ответ
13. **Риск недостаточной производительности исследовательского прототипа**: 1 ответ
14. **Сложности в обучении пользователей**: 1 ответ
15. **Риск недостаточной защиты данных**: 1 ответ
16. **Риск недостаточного уровня безопасности**: 1 ответ
17. **Проблемы с обеспечением качества кода**: 1 ответ
18. **Риск недостаточной функциональности**: 1 ответ
19. **Проблемы с обеспечением стабильности работы**: 1 ответ
20. **Риск недостаточной удобности использования**: 1 ответ

Приоритет каждого риска определяется количеством ответов: чем больше ответов,

Рис. 5. Категории сгенерированных рисков

**Закключение.** На основе проделанного эксперимента общения с чат-ботом можно сделать вывод, что при грамотном следовании принципам общения и поддержания диалога, предоставлении нужного и достаточного контекста чат-боту он может быть использован в качестве инструмента генерации карточек Кроуфорда. Инструмент в виде чат-бота на базе ГИИ не уступает другим источникам получения информации о рисках проекта. В дальнейшем исследовании нуждается механизм настройки «общих» знаний чат-бота на конкретный проект.

### Библиографический список

1. Chat Bing AI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bing.com/> (дата обращения: 23.12.2023).
2. Microsoft Corporation, Microsoft Solutions Framework MSF Risk Management Discipline. – Vol. 1.1. – 2002.
3. The Crawford Method [Электронный ресурс]. – 2006. – URL: <http://pmpro.ru/metod-krouforda.html> (дата обращения: 23.12.2023).
4. Affinity Diagram, Kawakita Jiro or KJ Method [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://project-management.com/affinity-diagram-kawakita-jiro-or-kj-method/> (дата обращения: 23.12.2023).
5. Boehm B.W. Software risk management: principles and practices // IEEE software. – 1991. – Vol. 8, № 1. – P. 32–41.

### Сведения об авторах

**Джейранян Анна Даниеловна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-21-1, г. Пермь, e-mail: [addzheyranyan@edu.hse.ru](mailto:addzheyranyan@edu.hse.ru)

**Плаксин Михаил Александрович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационные технологии в бизнесе» Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Пермь, e-mail: [mplaksin@hse.ru](mailto:mplaksin@hse.ru)

**А.В. Волков, С.Л. Крылова, А.В. Марченко, С.Н. Ивлиев**

Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск

## **ОЦЕНКА РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Создана модель оценки рисков информационной безопасности для системы управления сельским поселением, используя принципы нечеткой логики. Проведенное исследование выявило, что минимальные уровни рисков безопасности информации наблюдаются в данной системе при стабильной работе механизмов защиты на программно-техническом, административно-организационном и законодательно-правовом уровнях (значения лингвистических переменных «программно-технический», «административно-организационный», «законодательно-правовой» не менее 50). Это подчеркивает важность всестороннего подхода к обеспечению безопасности информации и ресурсов в рассматриваемой географической информационной системе.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, уровень защиты, информационная безопасность, информационные системы, анализ.

**A.V. Volkov, S.L. Krylova, A.V. Marchenko, S.N. Ivliev**

National Research Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev, Saransk

## **EVALUATION OF INFORMATION SECURITY RISKS FOR AN INFORMATION SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC**

The article introduced a model for assessing information security risks in a rural settlement management system, utilizing the principles of fuzzy logic. The conducted research revealed that the minimum levels of information security risks are observed in this system when the protection mechanisms operate steadily at the program-technical, administrative-organizational, and legislative levels (linguistic variable values for "software and technical, "administrative and organizational" and "legislative and legal" not less than 50). This underscores the importance of a comprehensive approach to ensuring the security of information and resources in the examined geographic information system.

**Keywords:** fuzzy logic, protection level, information security, information systems, analysis.

**Разработка нечеткой модели.** Анализ рисков в области информационной безопасности требует специализированных компетенций и опыта у разработчиков и экспертов. Аспекты безопасности, часто не могущие быть измерены количественно, выражаются через качественные показатели. Эксперты выражают свои словесные оценки, что может внести субъективность в процесс. Субъективность оценок рисков автоматизации помогает их сократить, поэтому использование экспертных систем на основе нечеткой логики представляет логичный подход к решению задачи информационной безопасности. Модель экспертной системы оценки информационных рисков, использующая технологию нечетких правил вывода и лингвистические переменные, была разработана для рассматриваемой информационной системы. Критерии эффективности защиты информации в данной системе были сформулированы на трех уровнях обеспечения информационной безопасности: законодательно-правовом, административно-организационном и программно-техническом [1].

Аудит информационной безопасности данной системы позволил получить относительные значения показателей, выраженные в процентах. Оценка риска информационной безопасности определялась на вербальной шкале: отсутствие риска, маловероятный, низкий, высокий, критически высокий [2].

Дополнение к пакету программ MatLab, Fuzzy Logic Toolbox использовалось для моделирования экспертной системы, автоматизирующей оценку рисков. Субъективность мнений экспертов учитывалась при определении формы кривых функций принадлежности. Основой для определения уровня информационного риска являются численные значения, полученные на основе экспертных измерений и рассчитанные по 100-балльной шкале в процентах. В соответствии с расчетами уровень информационного риска, зависящий от параметров программно-технического, административно-организационного и законодательно-правового уровней защиты, оценивается как низкий – 11,2 %.

Для анализа динамики изменения уровня риска проведен анализ зависимости уровня риска от двух показателей защищенности на программно-техническом (ПТ) и законодательно-правовом уровнях (ЗП). Полученные данные представлены в таблице.

Таблица позволяет сделать вывод, что уровень риска информационной безопасности (ИБ) в рассматриваемой информационной системе практически равнозначно зависит от уровня защиты на обоих уровнях –



законодательно-правовом и программно-техническом, с небольшим преимуществом ПТ, достигая своего максимума – 23,9 %, при низких значениях на обоих уровнях ПТ и ЗП.

#### Зависимости ПТ уровня защиты и ЗП уровня защиты

№	ПТ	ЗП	Риск ИБ при обслуживании ИС
1	12,4	16,7	24,9
2	40,2	29,7	14,6
3	54,6	23,3	12,4
4	19,7	74,8	16,5
5	71,5	74,8	10,29
6	88,3	13,8	15,8
7	46,2	45,5	13,4

Также проведен сравнительный анализ влияния уровня риска ИБ на административно-организационном (АО) и программно-техническом уровнях от двух параметров защищенности информационной системы. Минимальные значения риска информационной безопасности соответствуют средним значениям уровней программно-технического и административно-организационного обеспечения, как показывают полученные данные. При низких значениях программно-технического и административно-организационного уровней риск информационной безопасности при обслуживании информационной системы достигает максимума – 23,5 %. Уровень риска сохраняется повышенным при изменении уровня одного параметра защищенности вверх и другого вниз. Риск информационной безопасности остается на низком уровне при высоких и средних значениях административно-организационного и программно-технического уровней. Увеличение риска происходит при уменьшении уровня защиты в обоих направлениях.

**Заключение.** Стабильное функционирование механизмов обеспечения защиты на уровнях программно-техническом, административно-организационном и законодательно-правовом (значения лингвистических переменных «программно-техническом», «административно-организационном», «законодательно-правовом» не ниже 50) в совокупности, как показывает анализ результатов применения модели экспертной системы, достигает минимальных уровней риска информационной безопасности в информационной системе. Это подтверждает необходимость комплексного подхода к обеспечению защиты информации и ресурсов в рассматриваемой информационной системе.

### Библиографический список

1. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010:2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска.

2. Максименко В.Н., Ясюк Е.В. Основные подходы к анализу и оценке рисков информационной безопасности // Экономика и качество систем связи. – 2017. – № 2. – С. 42–48.

### Сведения об авторах

**Волков Антон Владимирович** – доцент кафедры «Информационная безопасность и сервис» Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва, г. Саранск, e-mail: elsoldador@rambler.ru

**Крылова Светлана Львовна** – старший преподаватель кафедры «Информационная безопасность и сервис» Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва, г. Саранск, e-mail: svet711@yandex.ru

**Марченко Анастасия Витальевна** – магистрант 1-го курса направления «Сервис» кафедры «Информационная безопасность и сервис» Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва, г. Саранск, e-mail: nastasya.marchenko.18@mail.ru

**Ивлиев Сергей Николаевич** – заведующий кафедры «Информационная безопасность и сервис», доцент Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва, г. Саранск, e-mail: ivliev\_sn@mail.ru

**Е.Д. Исайкин**

Пермский филиал Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики», Пермь

## **УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ДЛЯ ПРОЕКТА, ВКЛЮЧАЮЩЕГО МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

Рассматриваются различные методы выявления рисков и исследуются основные проблемы, с которыми можно столкнуться при разработке проекта для генерации оптимальных планировочных решений жилых помещений и создание визуализации интерьера с использованием машинного обучения и генеративного искусственного интеллекта. В статье определяются достоинства и недостатки известных методов выявления рисков. Представлен анализ, ранжирование и выделение главных рисков проекта.

**Ключевые слова:** управление рисками, методы выявления рисков, машинное обучение, искусственный интеллект.

**E.D. Isaykin**

Perm Branch of the National Research  
University “Higher School of Economics”, Perm

## **RISK MANAGEMENT FOR A PROJECT INVOLVING MACHINE LEARNING AND GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

This article reviews various risk identification methods and explores the main problems that can be encountered in the design process for generating optimal residential floor plans and creating interior visualizations using machine learning and generative artificial intelligence. The article identifies the advantages and disadvantages of known risk identification methods. Analysis, ranking and highlighting of the main risks of the project are presented.

**Keywords:** risk management, risk identification methods, machine learning, artificial intelligence.

Главным открытием последнего года стало массовое применение генеративного искусственного интеллекта и различных языковых моделей во всех сферах жизни. Эти новые технологии постепенно становятся неотъемлемой частью любого программного продукта, так как выводят опыт использования на совершенно другой уровень качества

и надёжности, поэтому вполне актуально исследовать применение давно известных методов выявления рисков для проекта, основой которого является машинное обучение и генеративный искусственный интеллект. Для выявления рисков проекта были использованы следующие методы выявления рисков:

- экспертные чек-листы («Белая книга MSF»);
- SWOT-анализ;
- диаграмма Ишикавы;
- диаграмма причинно-следственных связей;
- грубые модели;
- карточки Кроуфорда;
- фэйл-стори;
- диверсионный анализ.

Использование такого количества разных методов выявления рисков позволяет собрать достаточно полную картину, из которой уже можно выделить достоинства и недостатки каждого метода. Для метода с применением экспертных чек-листов, в частности «Белая книга MSF», из преимуществ можно выделить структурированный подход, обширный опыт, определение конкретных рисков, однако ограниченность опытом экспертов является крайне опасным недостатком, так как создают возможность упустить новые риски, что критично для проектов, в которых применяются новые технологии, такие как языковые модели искусственного интеллекта [1].

Для SWOT-анализа из «минусов» можно выделить ориентированность на текущее состояние, а из «плюсов» простоту использования, а также учет внутренних и внешних факторов. Диаграмма Ишикавы и диаграмма причинно-следственных связей хорошо подходят для идентификации основных причин и визуализации простых взаимосвязей, однако их применение ограничено в анализе сложных систем, что плохо подходит для проектов, включающих искусственный интеллект [2].

Грубые модели использовались для быстрого выявления основных трендов. Это простой метод, который не всегда обеспечивает точные прогнозы. Карточки Кроуфорда применялись для учета разнообразных мнений и взглядов. Однако в процессе возникли сложности в агрегации информации, а также с оценкой важности отдельных аспектов. Фэйл-стори использовались для анализа реальных неудач и избежания повторения ошибок. Этот метод целиком и полностью ориентируется на прошлое,

поэтому не может быть эффективным, так как допускает появление потенциальных рисков, с которыми раньше ещё никто не сталкивался.

В результате применения всех вышеперечисленных методов было выделено 29 основных рисков. В большинстве случаев методы представляли крайне похожие результаты и в основном выделяли только самые очевидные риски, поэтому применение всех и сразу можно однозначно назвать избыточным. Для эффективного выявления и дальнейшего управления рисками вполне достаточно использовать комбинацию из экспертных чек-листов, SWOT-анализа и карточек Кроуфорда, так как они обеспечивают комплексный анализ и максимальный охват потенциальных рисков в контексте разработки проекта, включающего машинное обучение и генеративный искусственный интеллект.

Так как управление рисками требует дополнительных расходов, было необходимо понять, на какие риски стоит выделять ресурсы, а какие можно проигнорировать. По принципу Парето примерно 80 % эффектов происходит от 20 % причин, поэтому можно идентифицировать первые 20 % рисков как главные и требующие особого внимания и управления. Для выделения первых 20 % самых опасных рисков необходимо ранжировать все выявленные риски и оценить их вероятность в диапазоне от 1 до 100 % и угрозу от 1 до 10. При этом было принято решение риски с вероятностью больше 93 % сразу включать в план работ, так как они практически неизбежны. Для ранжирования использовалось произведение вероятности риска и угрозы, как величина риска. В результате ранжирования были выделены следующие главные риски, представленные в таблице.

#### Главные риски

№ п/п	Формулировка рисков	Вероятность, %	Угроза	Величина риска
1	Превышение бюджета и сроков проекта	93	9	8,37
2	Отсутствие спонсоров и финансирования проекта	79	7	5,53
3	Низкое качество обработки изображений	65	5	3,25
4	Несоответствие предпочтений пользователей и автоматическисгенерированных вариантов планировки жилого помещения	65	5	3,25
5	Недостаточная профессиональная квалификация	50	5	2,5
6	Недостаточное удовлетворение потребностей заинтересованных сторон	50	4	2

### **Библиографический список**

1. Higuera R.P., Haimes Y.Y. Software risk management. Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute. – 1996.

2. Boehm B.W. Software risk management: principles and practices // IEEE software. – 1991. – 8 (1). – P. 32–41.

### **Сведения об авторе**

**Исайкин Евгений Дмитриевич** – студент Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-21-3, г. Пермь, e-mail: oneevgexaone@gmail.com

**Д.А. Мантурова, А.М. Спирина, Н.О. Тиунова**

Пермский филиал Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики», Пермь

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА**

Описывается применение функционально-стоимостного анализа на визуализаторе алгоритмов на графах. На этапе проектирования метод функционально-стоимостного анализа используется для того, чтобы предупредить возникновение лишних затрат при разработке программного продукта. В итоге анализ компонент и функций продукта позволил определить оптимальные способы использования ресурсов. Функционально-стоимостный анализ помог определить основные функции и модули продукта, и их значимость. Таким образом, удалось сосредоточиться на обеспечении этих функций высокого качества и улучшении общей ценности продукта.

**Ключевые слова:** функционально-стоимостный анализ, значимость, стоимость.

**D.A. Manturova, A.M. Spirina, N.O. Tiunova**

Perm Branch of the National Research  
University «Higher School of Economics», Perm

## **USING THE FUNCTIONAL AND COST ANALYSIS IN THE DESIGN OF A SOFTWARE PRODUCT**

This article describes the application of functional cost analysis on a graph algorithm visualizer. At the design stage, the functional and cost analysis method is used to prevent the occurrence of unnecessary costs during the development of a software product. Ultimately, the analysis of the components and functions of the product allowed us to determine the optimal ways to use resources. The functional and cost analysis helped to identify the main functions and modules of the product, and their significance. Thus, it was possible to focus on providing these high-quality features and improving the overall value of the product.

**Keywords:** functional and cost analysis, significance, cost.

Любой объект, в том числе программный продукт, может подлежать изменению или совершенствованию на различных этапах жизненного цикла: как на этапе анализа или разработки, так и уже после развертывания. Одним из наиболее эффективных методов усовершенствования объекта выделяют функционально-стоимостный анализ. Функционально-стоимостный анализ (ФСА) – это метод системного исследования функций изучаемого объекта с целью оптимизации соотношения между его потребительскими свойствами и затратами на разработку, производство, эксплуатацию и утилизацию [1]. Цель ФСА заключается в определении и оценке влияния различных функций продукта на его стоимость и нахождении оптимального баланса между функциональностью и стоимостью. При помощи ФСА можно идентифицировать функции, которые являются наиболее значимыми для потребителя и наиболее влиятельными на конечную стоимость продукта.

Применим метод ФСА на визуализаторе алгоритмов на графах. Это сайт, который позволяет визуально отображать и редактировать графы, а также отображать работу алгоритмов, основанных на построенных графах. На данный момент визуализатор находится на этапе проектирования, поэтому мы будем использовать ФСА для того, чтобы предупредить возникновение лишних затрат. Перейдём к выполнению этапов ФСА для визуализатора алгоритмов на графах.

Первый этап – подготовительный. На подготовительном этапе необходимо определить и уточнить объект анализа – носителя затрат, сформулировать цели проведения ФСА, сформировать временную творческую группу и составить план проведения процедуры. Для проведения ФСА необходимо создать временную творческую группу (ВТГ), в состав которой входили бы специалисты различных профессий. Необходимо, чтобы члены исследовательской рабочей группы были знакомы с ФСА, позитивно относились к коллективной работе и к коллегам, были творчески настроенными людьми. Состав группы может быть 5–8 человек.

Второй этап – информационный. Цель информационного этапа состоит в изучении всех особенностей рассматриваемого объекта. На этом этапе собирают и обрабатывают всю информацию об исследуемом объекте. Данный этап часто называют фундаментальным этапом ФСА, так как от полноты и достоверности полученных сведений зави-



сит успех последующей работы [2]. Одним из способов выявления характеристик продукта является составление таблицы «Параметры – претензии – предложения». Также во время информационного этапа выделяют и описывают функции. Пример описания функций представлен в табл. 1.

Таблица 1

Функции системы

Функция	Субъект	Объект	Действие	Комментарий
Изменить размер текста	Модуль редактирования	Изменить	Размер текста	Увеличить или уменьшить размер текста
Применить алгоритм	1. Модуль алгоритмов 2. Модуль обработки данных	Применить	Алгоритм	Применить на заданном графе любой из представленных алгоритмов
Экспортировать результат в текстовом файле	Модуль экспорта	Экспортировать	Результат	Скачать результат в формате .docx

В ходе информационного этапа были выявлены функции и компоненты системы, для которых далее будут обозначены стоимости и значимости. Следующий этап проведения анализа – аналитический. В первую очередь нужно составить функционально-структурную модель и матрицу. Функционально-структурная модель показывает взаимосвязь функций и модулей системы. Функционально-структурная модель представлена на рис. 1.

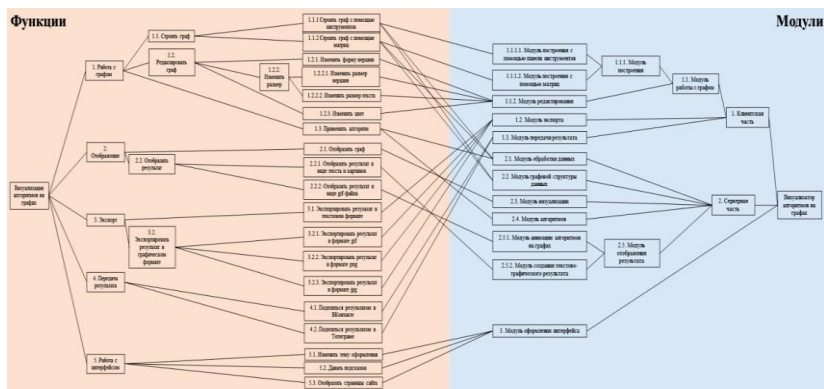


Рис. 1. Функционально-структурная модель



пе результатам. Одним из приемов, который с успехом можно использовать при ФСА, является функционально-идеальное моделирование.

		1. Идеальная часть										2. Существующая часть													
		1.1. Модуль работы с графами										2.5. Модуль отображения результатов				3. Модуль формирования интерфейса									
		1.1.1.1. Модуль построения инструмента		1.1.1.2. Модуль построения с помощью меню		1.1.1.3. Модуль редактирования		1.2. Модуль поиска		1.3. Модуль хранения результатов		1.4. Модуль обработки данных		1.5. Модуль графовой структуры данных		1.6. Модуль визуализации		1.7. Модуль отображения		1.8. Модуль отображения		1.9. Модуль создания шаблонов графического результата		4	Сумма
		Вес		9		8		5		5		10		10		14		8		8		4			
1. Работа с графами	1.1. Строить граф	1.1.1. Строить граф с помощью инструмента	11	1,24								1,19	1,19												20,27
		1.1.2. Строить граф с помощью меню	11		0,96							1,19	1,19												17,90
	1.1. Редактировать граф	1.1.1. Изменить форму вершины	5			1,91																			1,91
		1.1.2. Изменить размер вершины	4			1,91																			1,91
		1.1.3. Изменить размер ребра	4			1,91																			1,91
1.1.4. Изменить цвет	5			1,91																				1,91	
1.1.5. Применить шаблон	11									3,19														9,58	
1.1.6. Отобразить граф	10																							9,58	
2. Отображение	2.1. Отобразить результат	2.1.1. Отобразить результат в виде текста и списка	8													9,58	9,58								19,16
		2.1.2. Отобразить результат в виде гл. файла	2																						8,27
3. Поиск	3.1. Искать результат в графическом файле	3.1.1. Искать результат в графическом файле	6					1,13																	1,13
		3.1.2. Искать результат в файле pdf	1,3					1,13																	1,13
		3.1.3. Искать результат в файле xml	0,8					1,13																	1,13
4. Передача результатов	4.1. Передача результатов в Интернет	4.1.1. Передача результатов в Интернет	0,8					1,13																	1,13
		4.1.2. Передача результатов в Интернет	0,8					1,13																	1,13
		4.1.3. Передача результатов в Интернет	0,8					1,13																	1,13
5. Работа с интерфейсом	5.1. Проверить результат в Интернет	2,5									1,37														1,37
	5.2. Проверить результат в Интернет	1,5									1,37														1,37
	5.3. Проверить результат в Интернет	1																							1,00
	5.4. Проверить результат в Интернет	2																							1,00
5.5. Проверить результат в Интернет	3																							1,00	
Итого		11		9		8		5		5		10		10		14		8		8		4	4	1,00	

Рис. 3. Стоимость функций

		1. Идеальная часть										2. Существующая часть													
		1.1. Модуль работы с графами										2.5. Модуль отображения результатов				3. Модуль формирования интерфейса									
		1.1.1.1. Модуль построения инструмента		1.1.1.2. Модуль построения с помощью меню		1.1.1.3. Модуль редактирования		1.2. Модуль поиска		1.3. Модуль хранения результатов		1.4. Модуль обработки данных		1.5. Модуль графовой структуры данных		1.6. Модуль визуализации		1.7. Модуль отображения		1.8. Модуль отображения		4	Сумма		
		Вес		9		8		5		5		10		10		14		8		8		4			
1. Работа с графами	1.1. Строить граф	1.1.1. Строить граф с помощью инструмента	11	1,57								1,57	1,57											11	
		1.1.2. Строить граф с помощью меню	11		1,37							1,57	1,57												11
	1.1. Редактировать граф	1.1.1. Изменить форму вершины	5			1,41																			5
		1.1.2. Изменить размер вершины	4			1,41																			4
		1.1.3. Изменить размер ребра	4			1,41																			4
1.1.4. Изменить цвет	5			1,41																				5	
1.1.5. Применить шаблон	11									10,71														11	
1.1.6. Отобразить граф	10																							10	
2. Отображение	2.1. Отобразить результат	2.1.1. Отобразить результат в виде текста и списка	8																						8
		2.1.2. Отобразить результат в виде гл. файла	2																						2
3. Поиск	3.1. Искать результат в графическом файле	3.1.1. Искать результат в графическом файле	6					6,00																	6
		3.1.2. Искать результат в файле pdf	1,3					1,33																	1
		3.1.3. Искать результат в файле xml	0,8					0,83																	1
4. Передача результатов	4.1. Передача результатов в Интернет	4.1.1. Передача результатов в Интернет	2,5									1,50													3
		4.1.2. Передача результатов в Интернет	1,5									1,50													3
		4.1.3. Передача результатов в Интернет	1																						1,00
		4.1.4. Передача результатов в Интернет	2																						1,00
4.1.5. Передача результатов в Интернет	3																							1,00	
Итого		11		9		8		5		5		10		10		14		8		8		4	1,00		

Рис. 4. Значимость модулей

Существует три эвристики «идеализации»:

1. Функция не нужна. Когда нет объекта воздействия и объект не нуждается в обработке.

2. Функция выполняется «сама собой». Это происходит, когда объект воздействия сам выполняет функцию.

3. Функцию выполняют другие компоненты.

Прогоним выделенные функции через все эвристики для определения лучшего варианта. Затем переходим к исследовательскому этапу. Мы должны сравнить предложения всех трёх эвристик, и того, что они могут нам в итоге дать. При выборе – функция нам не нужна, и функция может выполняться «сама собой», мы выбираем, чтобы функция всё же выполнялась.

Следующий этап – рекомендательный. После применения эвристик необходимо понять, как изменения повлияли на значимость и стоимость компонент и функций в числах, и сравнить результат. Мы пересчитали стоимость разработки модулей, получив в итоге 286 700 рублей, что ниже изначально рассчитанных трат на 38 500 руб. и 11,9 %.

Изменение полезности			Было				Стало (первая итерация)				
			4-ый уровень	3-ий уровень	2-ой уровень	1-ый уровень	4-ый уровень	3-ий уровень	2-ой уровень	1-ый уровень	Веса листьев
1. Работа с графом	1.1. Строить граф	1.1.1. Строить граф с помощью инструментов		60				50			10,7
		1.1.2. Строить граф с помощью листов		60				50			10,7
		Сумма		100	35,7			100	35,7		
	1.2. Редактировать граф	1.2.1. Изменить форму вершин		32				53			5,1
		1.2.2. Изменить размер вершин		50				50			5,6
		1.2.2.1. Изменить размер текста		50				50			5,6
		Сумма		100	42			100	42		
1.3. Применить алгоритм		28	28,8			0	27,2			21,4	
Сумма		100	35,7			95,8	35,7			21,4	
2. Отображение	2.1. Отобразить граф		100	60			95,8	59,1		10,0	
2.2. Отобразить результат	2.2.1. Отобразить результат в виде текста и картинок		77				77			7,7	
2.2.2. Отобразить результат в виде gif-файла		23				23			2,3		
Сумма		100	60			100	60				
3. Экспорт	3.1. Экспортировать результат в текстовом файле	3.1.1. Экспортировать результат в формате gif		67				67		6,0	
3.2. Экспортировать результат в графическом формате	3.2.1. Экспортировать результат в формате gif		44				44			1,3	
3.2.2. Экспортировать результат в формате png		28					28			0,8	
3.2.3. Экспортировать результат в формате jpg		28					28			0,8	
Сумма		100	33				100	33			
4. Передача результата	4.1. Подарить результат в ВКонтакте			100	9			100	8,97	2,5	
4.2. Подарить результат в Телеграмме				50				50		2,5	
Сумма				100	5			100	5		
5. Работа с интерфейсом	5.1. Изменить тему оформления интерфейса			20				0		0	
5.2. Дать подсветку				35				0		0	
5.3. Отобразить страницы сайта				65				100		6,8	
Сумма				100	6			100		6,8	
Сумма					100					99,11	
Сумма										99,11	

Рис. 5. Изменение значимости функций

Если стоимость считается в часах и рублях, то для значимости мы составили таблицу, указав в строках функции, а в столбцах локальный вес листьев дерева, разделив их по уровням. Для начальной значимости функций мы прописали веса листьев, а для расчета значимости верхних уровней суммировали веса нижних. В столбцах значимости функций после первой итерации мы указали локальные веса листьев. Эти значения мы получили, как и на аналитическом этапе, методом

значений из шкалы. Только теперь мы будем считать вес верхних уровней, исходя не из суммы весов подфункций, а через отношения. Результат и промежуточные значения представлены на рис. 5.

Таким образом, значимость изменилась на  $100 - 99,11 = 0,89 \%$ . Снижение значимости можно было ожидать, так как количество функций сократилось. Далее мы составили новую функционально-структурную матрицу, где переопределили значимость модулей и стоимость функций. Интересно посмотреть и на изменение отношения значимости к стоимости для функций и модулей, представленное на рис. 6, 7.



Рис. 6. Отношение «значимость/стоимость» для функций

Очевидно изменение соотношения, причем по большей части, в лучшую сторону, то есть ближе к единице. Далее было решено провести вторую итерацию. Полученная модель вряд ли является идеальной. Поэтому совершаем те же действия в том же порядке, что и на первой итерации.

Последний этап – внедренческий. После второй итерации мы получили результат, представленный в табл. 2.



Рис. 7. Отношение «значимость/стоимость» для модулей

Таблица 2

### Прирост всей системы в соотношении «значимость – стоимость»

Итерации	Суммарная значимость функций, %	Суммарная стоимость реализации модулей, руб.	Суммарная стоимость реализации модулей, %	Соотношение «значимость – стоимость»	Прирост в % после 1-й итерации	Прирост в % после 2-й итерации
До	100	324 700	100	1	12,6	14,8
Первая итерация	99,1	286 200	88	1,126	–	2,2
Вторая итерация	98,7	279 400	86	1,148	–	–

Однако стоит также учесть затраты на процедуру ФСА. На применение метода были потрачены время и деньги. Стоимость реализации модулей снизилась на 45 300 руб., а затраты на ФСА составили 43 500 руб. Эти данные оставляют нас в плюсе на 1800 руб. при снижении значимости всего на 1,3 %.

Таким образом, ФСА позволил идентифицировать и устранить излишние издержки в процессе проектирования, помог сосредоточиться на обеспечении функций высокого качества и улучшении общей ценности продукта. С помощью эвристик идеализации удалось обратить внимание на поиск новых, более эффективных, способов выполнения функций. А также удалось определить наиболее эффективное распределение ресурсов (времени, труда, денег).

### **Библиографический список**

1. Шатунова Г.А., Кузьмина О.Н. Историко-логический генезис и периодизация этапов развития функционально-стоимостного анализа // Вестник Самарского гос. эконом. ун-та. – 2012. – 91 с.
2. Никитина Е.Б. Функционально-стоимостный анализ. – Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исследов. ун-та, 2021. – С. 20–23.

### **Сведения об авторах**

**Мантурова Дарья Андреевна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-21-2, e-mail: damanturova@edu.hse.ru

**Спирина Анна Михайловна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-21-2, e-mail: amspirina@edu.hse.ru

**Тиунова Надежда Олеговна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», гр. ПИ-21-2, e-mail: notiunova@edu.hse.ru

**Д.С. Федосеев, А.Д. Нерослов**

Пермский филиал Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Пермь

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ОРГАНА**

Рассматривается процесс управления рисками для разработки информационной системы федерального органа государственной статистики «Пермьстат». Определяется понятие риска. Выявляются риски для разработки информационной системы. В исследовании оценивается вероятность и влияние рисков, рассчитывается величина риска. Применяется метод ранжирования рисков на четыре категории. С помощью правила Парето выделяются ключевые риски для проекта. Разрабатываются планы воздействия на критические и высокие риски. Сформулированы выводы по минимизации рисков проектов.

**Ключевые слова:** риск, управление рисками, спекулятивные риски, ранжирование рисков.

**D.S. Fedoseev, A.D. Neroslov**

Perm Branch of the National Research  
University “Higher School of Economics”, Perm

**RISK MANAGEMENT FOR THE DEVELOPMENT  
OF AN INFORMATION SYSTEM OF A FEDERAL AGENCY**

The paper considers the risk management process for the development of the information system of the federal state statistics agency Permstat. The concept of risk is defined. The risks for the development of an information system are identified. The study evaluates the probability and impact of risks, and calculates the amount of risk. The method of ranking risks into 4 categories is used. Using the Pareto rule, the key risks for the project are highlighted. Critical and high risk impact plans are being developed. Conclusions on minimizing project risks are formulated.

**Keywords:** risk, risk management, speculative risks, risk ranking.

Управление рисками – это неотъемлемый элемент действительности в проектной деятельности. В любом реализуемом проекте применяется управление рисками. Само создание проекта несет определенные



риски для организатора проекта и команды по его реализации. Для качественного управления рисками стоит определиться с понятием самого риска. Панфилова в своей работе выделяет риск как вероятность возникновения потерь и недополучения прибыли [1]. По мнению авторов, это определение не включает в себя спекулятивные риски. Для более полного определения понятия риска необходимо рассматривать чистые риски и спекулятивные. Под спекулятивными рисками следует понимать положительное стечение обстоятельств, например, сокращение времени реализации проекта за счет оптимизации работы сотрудников.

Существует множество различных способов управления рисками, чаще всего применяется SWOT-анализ, дерево целей, метод Дельфи, диаграмма Исикавы и др. В настоящей работе применены следующие методы: количественная оценка рисков, ранжирование рисков, правило Парето. Проанализированы риски, связанные с разработкой программного продукта для федерального органа государственной статистики «Пермьстат». Выявим, какие риски могут появиться при создании информационной системы для Пермьстата. Используя метод экспертной оценки, были составлены следующие риски проекта:

1. Пользователи потеряют все данные.
2. Наличие неисправностей в программе.
3. Заказчик не заплатит за работу.
4. Высокая сложность в обслуживании системы.
5. Несанкционированный доступ к системе.
6. Проект не будет соответствовать требованиям заказчика.
7. Плохие условия труда.
8. Низкая скорость работы системы.
9. Руководитель проекта не будет обладать достаточными компетенциями.
10. Система будет сложной и неудобной для пользователей.
11. Проект реализуется быстрее срока.

Рассчитаем величину каждого риска в соответствии с его вероятностью наступления и влиянием на итоговый проект (табл. 1). Вероятность – это частота наступления риска. Влияние – это степень воздействия риска на проект. Величина рассчитывается как произведение вероятности на влияние. Вероятность и влияние рассчитываются по 10-балльной системе. Каждый риск оценивается индивидуально по этим двум показателям с помощью экспертной оценки.

Таблица 1

## Величина рисков проекта информационной системы Пермьстата

Номер	Риск	Вероятность (от 1 до 10)	Влияние (от 1 до 10)	Величина риска
1	Пользователи потеряют все данные	3	8	24
2	Наличие неисправностей в программе	5	5	25
3	Заказчик не заплатит за работу	1	10	10
4	Высокая сложность в обслуживании системы	1	4	4
5	Несанкционированный доступ к системе	6	3	18
6	Проект не будет соответствовать требованиям заказчика	3	10	30
7	Плохие условия труда	2	6	12
8	Низкая скорость работы системы	2	5	10
9	Руководитель проекта не будет обладать достаточными компетенциями	2	6	12
10	Система будет сложной и неудобной для пользователей	3	6	18
11	Проект реализуется быстрее срока	3	6	18

Для анализа рисков необходимо их ранжировать. Ранжирование рисков является важнейшим компонентом для управления. Необходимо выяснить, насколько важен риск по отношению к другим рискам проекта. Ранжирование осуществляется в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

## Ранжирование величины рисков

Величина риска	Риск
35–30	Критический
29–20	Высокий
19–11	Средний
10–0	Низкий

Осуществим ранжирование рисков в табл. 3. По итогу сформировались: 1 критический, 2 высоких, 4 средних и 4 низких риска проекта. Используя правило Парето [2], выявим риски, которые нанесут 80 % воздействия на проект. Необходимо разработать рекомендации именно для этих рисков проекта.

Таблица 3

Ранжирование величины рисков проекта

Номер	Риск	Величина риска	Оценка риска
1	Пользователи потеряют все данные	24	Высокий
2	Наличие неисправностей в программе	25	Высокий
3	Заказчик не заплатит за работу	10	Низкий
4	Высокая сложность в обслуживании системы	4	Низкий
5	Несанкционированный доступ к системе	18	Средний
6	Проект не будет соответствовать требованиям заказчика	30	Критический
7	Плохие условия труда	10	Низкий
8	Низкая скорость работы системы	10	Низкий
9	Руководитель проекта не будет обладать достаточными компетенциями	12	Средний
10	Система будет сложной и неудобной для пользователей	18	Средний
11	Проект реализуется быстрее срока	18	Средний

Разработаем планы по воздействию на ключевые риски проекта (табл. 4). Необходимо принимать меры воздействия не только на высокие и критические риски, но и на остальные. Каждый риск требует индивидуального подхода при воздействии на него, но необходимо рационально распределять ресурсы проекта на управление рисками. Нет смысла тратить потенциально высокие ресурсы на малозначительные риски проекта.

Каждый проект обозначен определенным набором рисков при его реализации, существует множество методов по управлению рисками. Набор управления [3] включает выявление, анализ потенциального воздействия и плана воздействия на риск.

Таблица 4

## Планы воздействия на риски проекта

Номер	Риск	Величина риска	Оценка риска	План воздействия
1	Пользователи потеряют все данные	24	Высокий	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проводить резервное копирование данных.</li> <li>2. Делегировать риск на компанию, которая обслуживает серверное оборудование</li> </ol>
2	Наличие неисправностей в программе	25	Высокий	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Планировать тестирование.</li> <li>2. Включать в план проверку совместимости библиотек, ОС, расширений или браузера.</li> <li>3. Проводить тестирование системы.</li> <li>4. Следить за выполнением планов тестирования</li> </ol>
6	Проект не будет соответствовать требованиям заказчика	30	Критический	Составить полное и конкретное ТЗ

В проекте информационной системы для Пермьстата было выявлено 3 существенных риска, которые по правилу Парето наносили наибольшее воздействие на проект. Сформированы планы по уменьшению воздействию на эти риски, которые снизят величину риска от 20 до 35 % от оценки риска.

**Библиографический список**

1. Ваньян П.Л., Поташев А.И. Правило Парето и самоподобие в ABC-анализе [Электронный ресурс] // Исследовано в России. – 2005. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravilo-pareto-i-samopodobie-v-avs-analize> (дата обращения: 23.12.2023).

2. Панфилова Э.А. Понятие риска: многообразие подходов и определений [Электронный ресурс] // Теория и практика общественного развития. – 2010. – № 4. – С. 30–34. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-riska-mnogoobrazie-podhodov-i-opredeleniy> (дата обращения: 23.12.2023).

3. Бектал А.А. Управление рисками [Электронный ресурс] // Вестник науки. – 2021. – № 3 (36). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-riskami-5> (дата обращения: 23.12.2023).

### **Сведения об авторах**

**Федосеев Данил Сергеевич** – студент Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Пермь, e-mail: [fs159@mail.ru](mailto:fs159@mail.ru)

**Нерослов Алексей Дмитриевич** – студент Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Пермь, e-mail: [9091069060@mail.ru](mailto:9091069060@mail.ru)

**В.А. Горева<sup>1</sup>, С.Ф. Тюрин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, Пермь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ QUARTUS**

Модели конечных автоматов широко применяются в информационных системах и технологиях, в том числе в области обеспечения информационной безопасности. Большой наглядностью обладает граф переходов. Система автоматизированного проектирования Quartus фирмы Intel позволяет синтезировать автомат по заданному графу в виде State Machine File по которому автоматически получается функциональная электрическая схема для выбранной программируемой логической интегральной схемы. Проведенное исследование показало, что при выбранном режиме синтеза «Минимальное количество бит» система автоматизированного проектирования не минимизирует таблицу переходов-выходов, обеспечивая только минимизацию логических функций. Это в ряде случаев приводит к неоптимальному решению по числу элементов памяти.

**Ключевые слова:** автоматная модель, граф переходов, система автоматизированного проектирования, State Machine File, оптимизация.

**V.A. Goreva<sup>1</sup>, S.F. Tyurin<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Perm State National Research University, Perm

## **STUDY OF STATE MACHINE MODEL OPTIMIZATION IN QUARTUS CAD**

Finite machine models are widely used in information systems and technologies, including in the field of information security. The transition graph is highly visual. Quartus CAD from Intel allows you to synthesize an automaton using a given graph in the form of a State Machine File, which automatically produces a functional electrical circuit for the selected field-programmable gate array. The study showed that with the selected synthesis mode "Minimum bits", CAD does not minimize the transition-output table, providing only the minimization of logical functions. This in some cases leads to a non-optimal solution regarding the number of memory elements.

**Keywords:** automat model, transition graph, CAD, State Machine File, optimization.

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) [1, 2] позволяют путем загрузки конфигурации, определяемой пользователем, строить цифровые устройства, которые по быстродействию занимают промежуточное положение между полностью заказными БИС, специализированными для решения конкретной задачи (так называемыми ASIC – application-specific integrated circuit), и процессорами (микропроцессорами, микроконтроллерами), в которых алгоритмы реализуются программно. При синтезе цифровых автоматов используют известный метод Хаффмана – Глушкова [3, 4], включающий определение эквивалентных тактов, минимизацию первичной таблицы переходов-выходов, минимизацию логических функций переходов и выходов. Автоматический синтез по графу автомата предусмотрен в САПР Quartus фирмы Intel [5], причем граф задается в виде так называемого State Machine File. Анализ особенностей такого синтеза посвящена, например, статья [6]. Однако подробный анализ этапов синтеза ранее сделан не был. Рассмотрим пример автомата – формирова-теля, заданного таблицей тактов (табл. 1).

Таблица 1

ba	00	01	10	11	00	10	01	11	00
z	0	1	0	0	0	1	0	0	0
такты	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Очевидно, что после такта «8», происходит переход в такт «1». Попробуем выполнить автоматический синтез, строим State Machine File (рис. 1).

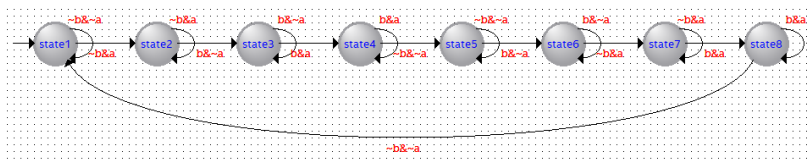


Рис. 1. Граф переходов автомата для заданной табл. 1 последовательности

Получаем автоматически VHDL файл, запускаем компиляцию, получаем схему (рис. 2). Видим, что каждому состоянию графа рис. 1 поставлен в соответствие элемент памяти (восемь зеленых прямоугольников). Так всегда происходит, поскольку по умолчанию задан

режим унитарного кодирования (“One hot”, “One cold”) Для минимизации памяти задаем режим “Minimum bits”, получаем три элемента памяти (рис. 3).

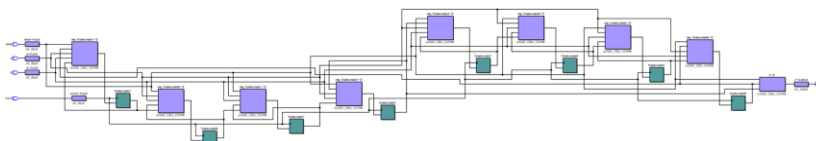


Рис. 2. Технологическая карта автомата по графу рис. 1

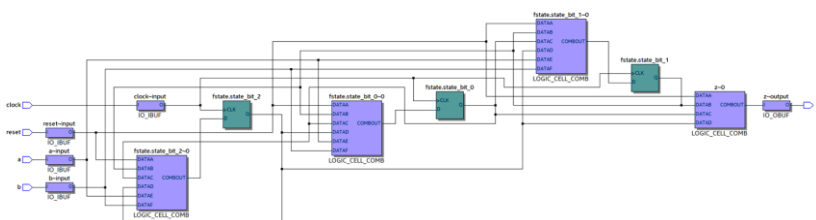


Рис. 3. Технологическая карта автомата Мура после оптимизации “Minimum bits”

Строим временную диаграмму, запускаем временное моделирование, убеждаемся, что последовательность обрабатывается верно (рис. 4).

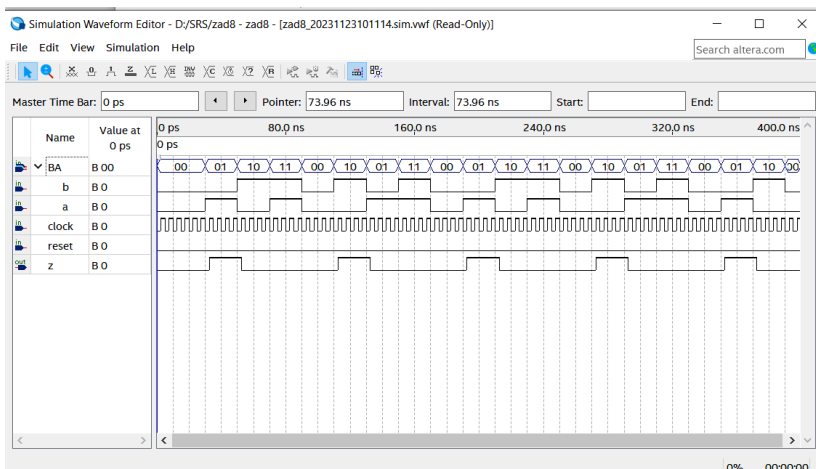


Рис. 4. Временное моделирование работы автомата



Анализ рис. 3 показывает, что построенный автомат – автомат Мура, так как выход  $z$  зависит только от состояний элементов памяти (не считая сброса). Для синтеза автомата Мили необходимо выходной сигнал сопоставить с дугами графа (рис. 5).

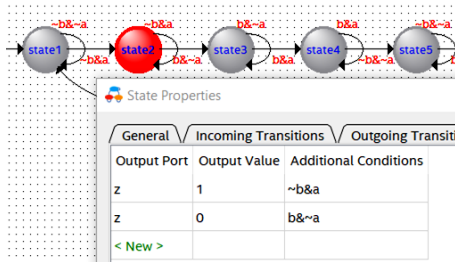
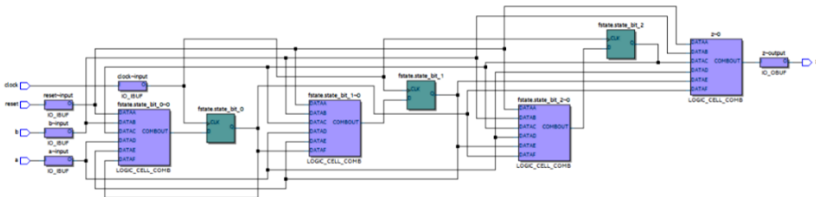
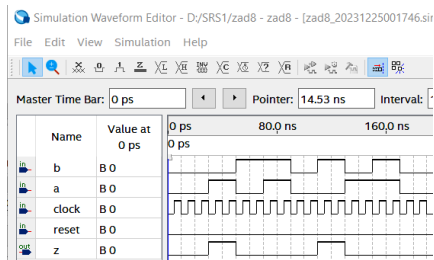


Рис. 5. Задание автомата Мили

Временное моделирование подтверждает правильность синтеза схемы (рис. 6, а), а также то, что быстродействие увеличилось. Как видно на временной диаграмме (рис. 6, б), практически отсутствует задержка  $z$  относительно входного набора, имеющаяся на рис. 4.



а



б

Рис. 6. Автомата Мили: а – схема; б – результаты временного моделирования

Как видно на графике, отсутствует задержка. Проведем ручную абстрактный синтез по табл. 1. Выделим эквивалентные такты – табл. 2.

Таблица 2

ba	00	01	10	11	00	10	01	11	00
z	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Такты	1	2	3	4	5(1)	6	7	8(4)	9(1)

Таким образом, с учетом эквивалентных получается не восемь, а шесть тактов – табл. 3.

Таблица 3

ba	00	01	10	11	00	10	01	11	00
z	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Такты	1	2	3	4	1	5	6	4	1

Строим первичную таблицу переходов (рис. 7).

№ такта	ba				z
	00	01	11	10	
1	① → 2	→ 5			0
2		② ↓ 3			1
3			③ ← 4		0
4	1 ←		④ ↓		0
5		6 ←		⑤ ↓	1
6		⑥ → 4			0

Рис. 7. Таблица переходов-выходов автомата

Выполним «сжатие» таблицы переходов-выходов (рис. 7). Строим граф объединения строк (рис. 8).

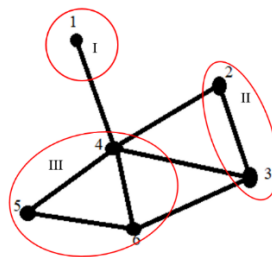


Рис. 8. Граф объединения строк

С учетом этого графа получаем минимизированную таблицу переходов-выходов (рис. 9).

№ такта	ba			
	00	01	11	10
I (1)	①	2		5
II (2,3)		②	4	③
III (4,5,6)	1	⑥	④	⑤

Рис. 9. Минимизированная таблица переходов-выходов (МТП)

Получаем таблицу переходов выходов с учетом безгончного кодирования (рис. 10).

y <sub>2</sub> y <sub>1</sub>	ba			
	00	01	11	10
00	①	2		5
01		②	4	③
11	1	⑥	④	⑤
10	-	-	-	-

	y <sub>1</sub>	
	I 00	II 01
y <sub>2</sub>		III 11

*a*                      *b*

y <sub>2</sub> y <sub>1</sub> (t)	ba				
	00	01	11	10	
00	0	1	3	2	
	$\frac{00}{0}$	$\frac{01}{1}$		$\frac{11}{1}$	
01	4	5	7	6	
		$\frac{01}{1}$	$\frac{11}{0}$	$\frac{01}{0}$	
11	12	13	15	14	
	$\frac{00}{0}$	$\frac{11}{0}$	$\frac{11}{0}$	$\frac{11}{1}$	
10	8	9	11	10	$\frac{y_2 y_1(t+1)}{z}$
	-	-	-	-	

*в*

Рис. 10. Получение таблицы переходов-выходов: *a* – карта Карно соседнего кодирования; *b* – кодированная МТП; *в* – таблица переходов-выходов (ТПВ)

Рис. 10, в указывает, что необходимо всего два элемента памяти (триггера):  $y_{2y1}$ , а на рис. 3 их три. Построим на рис. 11 граф автомата Мили по рис.10, в.

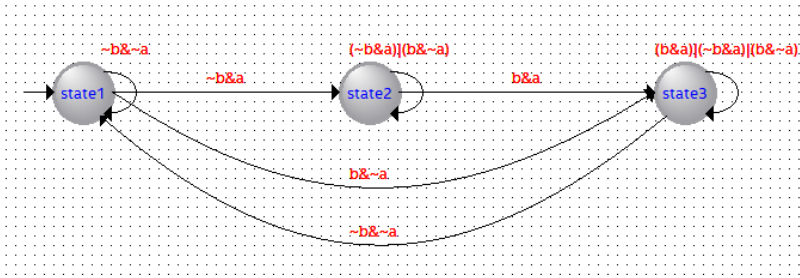


Рис. 11. Граф автомата Мили по рис.10, в

Ожидаемо получаем два триггера (рис. 12).

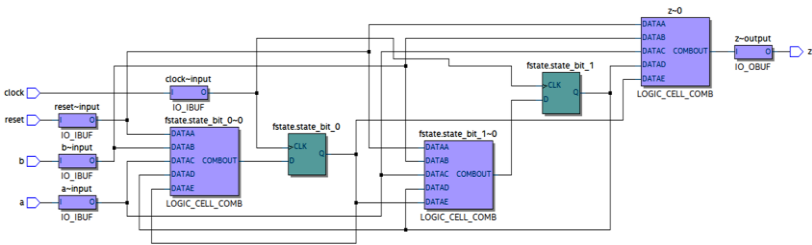


Рис. 12. Технологическая карта автомата Мили по рис. 10, в после оптимизации

Видим, что выходной сигнал зависит от входных переменных, как и положено автомату Мили. Временное моделирование подтверждает работоспособность нового автомата.

Может быть, схема рис. 6, а выигрывает в сложности у схемы на рис. 12? Автоматически синтезированный автомат содержит три элемента памяти и четыре логических элемента на 6 входов. «Вручную» синтезированный автомат содержит два элемента памяти и три логических элемента на 5 входов. Лучше не получается, соответственно и задержка у «ручного» меньше, поскольку задержка логического элемента с большим числом входов больше.

Таким образом, исследование оптимизации автоматных моделей, проведенное в рамках выполнения одного из заданий самостоятельной

работы студентов по дисциплине «Исследование операций», показало, что автоматический синтез в САПР Quartus по State Machine File, вероятнее всего, не предусматривает сжатие соответствующей таблицы переходов-выходов по методу Хаффмана – Глушкова.

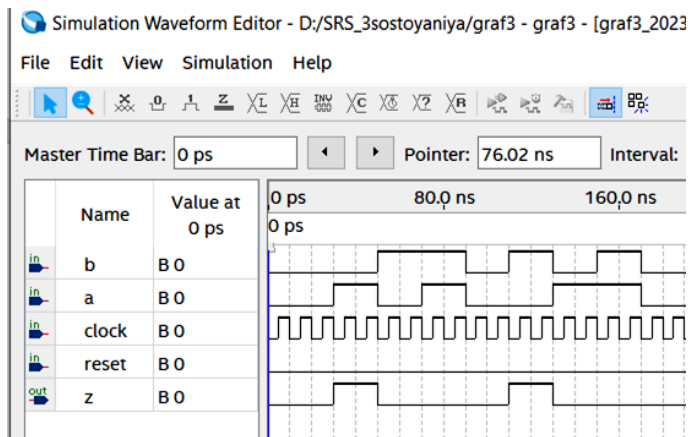


Рис. 13. Временное моделирование работы нового автомата Мили

Оптимизация, предусмотренная в этой САПР, обеспечивает только кодирование вершин графа двоичным кодом без построения минимизированной таблицы переходов-выходов. Возможно, корень проблемы в отсутствии анализа эквивалентных тактов, но этот вопрос требует отдельного исследования.

### Библиографический список

1. Строгонов А., Городков П. Современные тенденции развития ПЛИС: от системной интеграции к искусственному интеллекту // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2020. – № 4 (195). – С. 46–56.
2. Строгонов А., Цыбин С. Программируемая коммутация ПЛИС: взгляд изнутри [Электронный ресурс] // Компоненты и технологии. – 2010. – № 11. – URL: [http://www.kit-e.ru/articles/plis/2010\\_11\\_56.php](http://www.kit-e.ru/articles/plis/2010_11_56.php) (дата обращения: 17.11.2022).
3. Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.Н. Дискретная математика для инженера. – М.: Энергоатомиздат. – URL: <https://djvu.online/file/SBqZ3D54yHJMN?ysclid=lqmb9fge2r933918971>

4. Тюрин С.Ф., Аляев Ю.А. Дискретная математика: практическая дискретная математика и математическая логика. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 394 с.

5. Основы работы в среде QUARTUS II: учеб.-метод. пособие. – URL: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F1473892315/Osnovy\\_raboty\\_v\\_srede\\_Quartus\\_II.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F1473892315/Osnovy_raboty_v_srede_Quartus_II.pdf)

6. Tyurin S.F. Deciphering LUT FPGA configuration of the finite state machine with QUARTUS II // In the World of Scientific Discoveries, Series B. – 2015. – Vol. 3, № 2. – P. 111–118.

### **Сведения об авторах**

**Горева Вероника Андреевна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета г. Пермь, e-mail: fizikoz@gmail.com

**Тюрин Сергей Феофентович** – заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; профессор кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: tyurinsergfeo@yandex.ru

**М.Д. Кайсина, С.В. Вологдин**

Ижевский государственный технический университет  
имени М.Т. Калашникова, Ижевск

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ПО ПУБЛИКАЦИИ ДАННЫХ О ДОГОВОРЕ В ЕДИНУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ**

Рассматривается возможность автоматизации бизнес-процесса по публикации данных о договоре в единую информационную систему. По методу SIPOC описывается модель текущего бизнес-процесса по публикации информации компании, риски, существующие при таком процессе. Предлагается вариант автоматизации бизнес-процесса, приводятся эффекты от внедрения инструментов автоматизации.

**Ключевые слова:** автоматизация, бизнес-процесс, единая информационная система, договор, область закупок.

**M.D. Kaysina, S.V. Vologdin**

Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov

## **AUTOMATION OF THE BUSINESS PROCESS OF PUBLISHING CONTRACT DATA INTO A SINGLE INFORMATION SYSTEM**

In this article we discuss the possibility of automating the business process of publishing contract data into a single information system. The SIPOC method describes the model of the current business process for publishing company information, the risks that exist in this matter. A way to improve the business process is considered, the effects of the introduction of automation tools are presented.

**Keywords:** automation, business process, single information system, contract, procurement.

В современном обществе использование информационных систем и технологий является неотъемлемой частью деятельности организаций, занятых регулируемыми отраслями (энергетика, водоснабжение). Для таких организаций есть необходимость в публикации информации о закупках в Единой информационной системе (далее ЕИС) в области закупок [1] согласно Федеральному закону от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» [2]. Этот бизнес-процесс достаточно трудоёмок за счет большого

количества заключаемых договоров, определенных сроков публикации и ограниченной штатной численности.

Компания N, работающая в сфере электроэнергетики и теплоснабжения [3] по ФЗ № 223 в рамках закупочной процедуры обязана публиковать данные о договорах в ЕИС. В данной компании договоры проходят процесс согласования через ERP-систему SAP. В настоящее время процесс публикации происходит с помощью ручного занесения данных, а именно: заключенный подписанный договор необходимо опубликовать в ЕИС, для этого вручную формируют данные о договоре в Excel и вручную вводят данные в ЕИС после подписания документов (договор, дополнительное соглашение, документы поступления материально технических ресурсов/услуг, документы оплаты) без учета данных, зарегистрированных в системе SAP. Подробнее рассмотрим модель бизнес-процесса публикации информации о договорах в ЕИС по методу SIPOC [4] (рис. 1).



Рис. 1. Модель процесса публикации информации о договорах в ЕИС по методу SIPOC

При такой схеме существуют следующие риски:

- 1) штрафы, связанные со срывом сроков публикации;
- 2) несоответствие опубликованных данных и данных, зарегистрированных в системе SAP;
- 3) ошибки, связанные с ручным вводом данных в ЕИС;
- 4) большая трудоемкость ввода данных в ЕИС;



5) выделение дополнительного количества сотрудников для регистрации данных в ЕИС;

б) увеличение временных трудозатрат на ввод данных в ЕИС.

В рамках автоматизации данного бизнес-процесса предлагается разработать функциональный модуль для формирования готового отчета о договоре в соответствующем шаблоне, который в дальнейшем будет загружаться в ЕИС [5, 6]. Также предлагается разработать сервис взаимодействия с ЕИС в системе SAP. При помощи такого сервиса будет осуществляться интеграция системы SAP с ЕИС в области закупок, в ходе чего будут приходить уведомления о том, что договор зарегистрирован в ЕИС, а также о корректности зарегистрированных данных. В таком случае бизнес-процесс будет представлен следующим образом (рис. 2).



Рис. 2. Модель автоматизации процесса публикации информации о договорах в ЕИС по методу SIPOC

С помощью такой интеграции получены следующие эффекты:

- 1) снижены временные трудозатраты на ввод данных в ЕИС;
- 2) исключен «человеческий фактор» при ручном формировании отчета о договоре, следовательно повысится качество работы;
- 3) сокращен фонд оплаты труда за счёт того, что не нужно выделять дополнительное количество сотрудников на работу над отчетом.

Максимально снижены риски за счет настройки автоматического формирования отчета о договорах после регистрации системных документов и исключения ручного ввода данных в ЕИС.

Таким образом, компании, стремящиеся повысить эффективность и качество своей деятельности, внедряют информационные системы и технологии, которые обеспечивают автоматизацию бизнес-процессов. Кроме того, автоматизация процессов способствует соблюдению законодательства, что, в свою очередь, повышает рейтинг компании и снижает убытки за счет отсутствия штрафов.

### **Библиографический список**

1. Портал закупок: официальный сайт Единой информационной системы в сфере закупок [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html> (дата обращения: 18.12.2023).

2. О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц: Федер. закон 18.07.2011 № 223-ФЗ [Электронный ресурс]: в ред. от 04.08.2023 // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Логинов Е.Л., Шкута А.А. Внедрение цифровых платформ для управления сложными техно-организационными системами топливно-энергетического комплекса России: от цифровой энергетики – к цифровой экономике. – М.: ИПР РАН, 2018.

4. Рыбаков М.Ю. Бизнес-процессы. Как их описать, отладить и внедрить. Практикум. – 2016. – 94 с.

5. Маркова В.Д. Бизнес-модели компаний на базе платформ // Вопросы экономики. – 2018. – № 10. – С. 127–135.

6. Тасалов Ф.А. Нормирование в сфере закупок: пробелы и недостатки законодательства о контрактной системе // Право и экономика. – 2016. – № 2. – С. 33–39.

### **Сведения об авторах**

**Кайсина Мария Дмитриевна** – магистрант кафедры «Информационные системы» Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова, гр. М23-791-1, г. Ижевск, e-mail: [mari.kaysina@mail.ru](mailto:mari.kaysina@mail.ru)

**Вологдин Сергей Валентинович** – доктор технических наук, доцент кафедры «Информационные системы» Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, e-mail: [vologdin\\_sv@mail.ru](mailto:vologdin_sv@mail.ru)

**Je. Rajović<sup>1</sup>, M. Vešović<sup>2</sup>, A.V. Mylnikova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Academy of Applied Studies of Kosovo and Metohija, Serbia, Leposavić

<sup>2</sup>University Adriatic Bar, Montenegro, Budva

<sup>3</sup>Perm National Research Polytechnic University, Russia, Perm

## **ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES IN THE CONTEXT OF ROAD TRAFFIC ENGINEERING CURRICULA AND TEACHING PROCESS AUTOMATION APPROACHES**

This paper deals with the theoretical and practical analysis of the English language curricula at tertiary level of education implemented at Western Balkan Universities, with the emphasis on the Road traffic study programs/modules. The aim was to investigate the most important aspects of given curricula, such as objectives, outcomes, content, and structure. The results have shown that the majority of analyzed curricula are based on General English and need to be harmonized with the students' and profession needs. The need of modifying the curriculum in order to meet the requirements of international professional competences in ESP should be the priority of every higher education institution.

**Keywords:** english for specific purposes, curriculum, road traffic, students, faculties, language formalization.

Increasingly internationalized working environments caused the growing demands for engineering faculty graduates with high level of English proficiency both in the academic and professional environments. The English language proficiency, especially English for specific purposes (ESP) is vital for professionals in various fields of technical engineering in order to be competitive in the demanding labour market. Desire to do availability of certain information to the global community makes national communities to lose the communication channels in their own language making thus English the dominant world language [1]. As a result of world's globalization, ESP has become a key element of English language teaching around the world. The requirements of the competitive labour market impose to graduates of all faculties the need to master a foreign language in the field of their profession.

English for Specific Purposes is a form of English language teaching which is designed to meet the needs of the students. ESP content (themes and topics) should be related to particular occupations, activities and disci-

plines and focused on the corresponding language activities in discourse, genre, vocabulary, syntax, and grammar [2]. The goal of ESP is to prepare students to effectively use English language in a specific target situation [3].

Since the use of ESP is aimed for specific occupational or professional settings, designing the ESP curriculum is of special importance for both teachers and students. Due to the fact that curriculum is an important issue in ESP teaching and learning, it is essential that the content is in line with the newest trends in the given occupation, as well as teaching material and upgrading of the curriculum itself, as these aspects play a crucial role in the evaluation of the course.

There is a question, however, whether ESP curricula reflect the students' language needs in terms of the course objectives, outcomes and teaching material, and to what extent these courses can contribute to students' real job performance.

This study tends to investigate whether Bachelor Degree English language curricula in the field of road traffic engineering in Western Balkan countries serve the purposes of ESP coursework, if they are in line with the needs of profession they are designed for.

Another significant issue however is the evaluation of teaching quality and the use of software tools for teaching purposes which will enhance the degree of students' involvement into the academic processes and gain necessary professional skills.

**English language program features in road traffic engineering.** The present study is designed to investigate the structure of English language curriculum at tertiary level of education; therefore, a descriptive qualitative approach is applied. In addition, a content analysis is used for the examination of course contents.

*Data collection.* Data for the present study are collected from five higher education institutions from Montenegro, Serbia, and Bosnia and Herzegovina. In total, there were two Universities from Montenegro – The University Adriatic Bar - Faculty for Traffic Communication and Logistics Budva and University of Montenegro – Faculty of Mechanical Engineering; two Universities from Serbia – The University of Priština settled in Kosovo Mitrovica, Faculty of Technical Sciences, The University of Novi Sad -Faculty of Technical Sciences, and one university from Bosnia and Herzegovina – The University of Sarajevo - Faculty of Traffic and Communication. All universities are state-owned, apart from The University Adriatic

ic Bar – Faculty for Traffic Communication and Logistics Budva, which is privately owned.

The data were collected from official websites of the mentioned institutions and include five bachelor level study programs of road traffic engineering. Altogether, 13 curricula of the English language have been analyzed.

Data collected from websites were as follows: name of the institution, study program and curriculum of the English language courses taught at bachelor degree road traffic study programs.

The results obtained from the analyzed data are presented for each institution involved and the cumulative findings are presented subsequently.

*Faculty for Traffic Communication and Logistics Budva- Montenegro.* Bachelor studies at this faculty last three years/six semesters. English language is taught in the first and the second year. Courses are titled as English language I, English language II, English language III, and English Language IV. Table 1 gives the general information on English language courses.

Curricula are elaborated for 15 working weeks, that is, they consist of 15 thematic fields, including two tests/preliminary exams. The detailed analysis is of all the mentioned courses is given below.

Table 1

General information on English language courses at Faculty for Traffic Communication and Logistics Budva

Study program	Course title	Level of study	Type of course	Semester	Year of study	Weekly Class load
Road traffic	English language I	Bachelor	Compulsory	I	I	2+2+1
Road traffic	English language II	Bachelor	Compulsory	II	I	2+2+2
Road traffic	English language III	Bachelor	Compulsory	III	II	2+2+2
Road traffic	English language IV	Bachelor	Compulsory	IV	II	2+2+1

*The English Language I Course Curriculum.* The objectives of this course concern “the acquisition of knowledge from the theory and practical use of the English language; introduction and mastering of general fields and characteristics of English; enabling of students to apply English lan-

guage while using professional literature” [4]. The outcome of the course states that the students upon the completion of the course will be able to “identify the importance of English language in the world of business; recognize and apply general grammar categories and apply acquired knowledge in written and oral form in everyday and business world” [4]. The content of the curriculum is exclusively focused on general grammar issues and there is only one topic related to English for specific purposes – The role of the English language in professional literature.

*The English Language II Course Curriculum.* The objectives and outcome of this course are the same as in English language I course. The content of the curriculum is also focused only on general grammar issues and there is only one topic related to English for specific purposes, which is the same as in English language I [4].

*The English Language III Course Curriculum.* The objective of the course is the same as in the previous two courses. The outcome of the course is extended and includes communication in English language; preparation of meetings and all the follow up material in English language, preparation of promotion materials and presentations in English language, writing the research papers, and using professional literature. The topics in the curriculum are related to business differences between British and American English; CV writing and form filling; business correspondence - business letters, e-mails and requests, etc.

*The English Language IV Course Curriculum.* The objective and outcome of English language IV course are the same as in English language III course. The topics of this curriculum are dealing with translation from English to native language and vice versa, and include themes like “How to use dictionary?”; translation explanation, styles and types; translation of short texts to native language and vice versa, etc. The analysis revealed that this course is focused on translation practice and includes a topic related to occupation.

*Faculty of Mechanical Engineering Podgorica – Montenegro.* Bachelor studies at this Faculty last 3 years/6 semesters. English language is taught in the first, second and third year (second semester, fourth semester and fifth semester). The titles of the courses are English language I - General I, English language II - General II and English language III - ESP. All the mentioned courses are one-semester courses. Table 2 gives the general information on English language courses at the Faculty of Mechanical Engineering Podgorica – Montenegro.

Table 2

General information on English language courses at Faculty  
of Mechanical Engineering - Podgorica

Study program	Course title	Level of study	Type of course	Semester	Year of study	Weekly Class load
Road traffic	English language I - General	Bachelor	Compulsory	II	I	2+2+0
Road traffic	English language II - General	Bachelor	Compulsory	IV	III	2+2+0
Road traffic	Subject: English language III - ESP	Bachelor	Compulsory	V	IV	2+2+0

*The English language I - General Course Curriculum.* The objective of this course is described in one sentence “Mastering of basic grammar structures and active use of language in everyday situations” [5] The outcome of the course states that after the passing the exam, the students will be able to integrate basic language structures and grammar; apply basic reading techniques of general literature; express and elaborate their ideas through different speaking skills, recognize basic vocabulary, and become aware of the need of learning the English language. Both the objective and the outcome are general and are focused on General English. The content is elaborated for 19 working weeks and contains the topics like tense system, compound words, spoken English, questions and negatives, books and films, a book at bedtime, future forms, expression of quality, etc.

*The English language II - General Course Curriculum.* The objective of this course is the same as in The English Language I - General. The outcome is focused on students’ ability to produce verbal utterances on familiar topics - using simple structures; to exchange information and participate in the conversation in English language on familiar and processed topics; to describe events, experiences, plans; to give explanations and arguments in English language; to use English language grammar on the upper intermediate level; to integrate connection between the foreign language and culture; to know some customs from English-speaking countries. The outcome of this course is

rather confusing, very general in nature and does not reflect the use of language in authentic situations. The content of the course is elaborated for 19 working weeks and contains the topics like modal verbs, relative clauses, participles, adverb collocations, expressing habits, homonyms and homophones, synonyms, articles. The course includes one preliminary exam.

*The English language III – ESP.* The objective of this course is the same like in the two previously described courses; it is mentioned though, that the objective of this course should be related to the ESP- as stated in the title of the course itself. This course does not have an outcome, which is a serious issue, especially in a light of language didactics. Despite the inappropriate presentation of the course objective and the lack of its outcome, the course curriculum is closely related to road traffic engineering and is elaborated for 15 working weeks. The topics included in the curriculum are as follows: Road transport, Road vehicles, Engines and forces, Road safety; Traffic, Road infrastructure 1 and 2, Propulsion, Disk brakes, Other means of transport, Road construction, Road elements, etc.

*Faculty of Technical Sciences Novi Sad – Serbia.* Bachelor studies at this Faculty last 4 years/8 semesters. English language is taught in the second and fourth year (second semester, fourth semester and fifth semester). Given that all the courses are elective, courses English intermediate and English pre-intermediate (including German language pre-intermediate) belong to the second set of elective courses where students may choose one out of three course offered, English language for traffic and transport and Engineering English I (including German language intermediate), which belongs to the set of elective courses titled Elective foreign language for specific purposes where students may also choose one out of three course offered. However, there is no explanation on what ground students may choose one of the mentioned courses, that is, how their language background has been evaluated in regard to the level of the English language they are offered to learn. Table 3 gives the general information on English language courses at the Faculty of Technical Sciences Novi Sad - Serbia.

The content of the courses has not been elaborated through working weeks and does not contain defined topics. It is interesting to point out that there is no practical part of the lectures in any of the given courses as a part of weekly class load. The results of the analysis of each subject are presented below.



Table 3

General information on English language courses at Faculty  
of Technical Sciences Novi Sad - Serbia

Study program	Course title	Level of study	Type of course	Semester	Year of study	Weekly Class load
Traffic and transportation	English pre intermediate	Bachelor	Elective	III	II	2+0+0
Traffic and transportation	English intermediate	Bachelor	Elective	III	II	2+0+0
Traffic and transportation	English language for traffic and transport	Bachelor	Elective	VII	IV	2+0+0
Traffic and transportation	Engineering English I	Bachelor	Elective	VII	IV	2+0+0

*The English pre-intermediate Course Curriculum.* This course goal is “Enhancing the basics of the English language: enhancing the vocabulary related to everyday situations, adopting the basic prefixes and suffixes, compound words and collocations; enhancing the use of verb tenses; adopting more complex sentence structures” [6]. The outcome of the course indicates that the students will be able to use written and spoken language in everyday situations by using enhanced vocabulary and complex sentence structures. The content of the course follows the aim and outcome and includes basic grammar issues with no particular emphasis on English for specific purposes.

*The English intermediate Course Curriculum.* The goal of this course is “further improvement of English language skills through the expansion of the acquired vocabulary and the adoption of more complex sentence construction of appropriate purposes and the situation in which the language is used. Expanding the vocabulary with terms, which are not only related to the immediate environment. Developing the ability to express one's thoughts and feelings more precisely and more clearly“ [6]. The outcomes of the course refer to the students' ability to use language knowledge and skills in different situations using appropriate vocabulary and sentence constructions, to adjust style and register in line with the given situation, to read more complex texts and to discuss the ideas presented in the texts [6]. The analysis of the course content revealed that the content is rather general, with no concrete topics. It includes items like vocabulary and abstract terms; work with texts from different

sources, different styles and register; word formation related to the formation of abstract nouns; prepositions; the use of negative prefixes; the passive voice; conditional sentences and verbal tenses.

*The English Language for Traffic and Transport Course Curriculum.* The curriculum of this course includes elements related to vocation that it is designed for. The aim is “Mastering the most important terms related to the profession and orientation. Develop strategies for understanding the text in the foreign language. Training to read and understand original English texts from various sources related to numerous aspects and areas of the traffic profession. Developing verbal and written utterances related to these topics with the use of adequate vocabulary and more complex sentence constructions” [6]. The outcome is focused on the acquisition of vocabulary related to the field of study and review of the professional literature and communication in the situations of their future profession that require the use of English for specific purposes. The content of the curriculum is orientated toward professional texts in English language related to different road traffic aspects and areas, in particular to the comprehension of professional texts, acquisition of professional terms, etc.

*The Engineering English I Course Curriculum.* The objective and outcome of this course are the same as in the previous one. The content of the curriculum is also the same - the only thing that differs is that the word traffic in this curriculum is replaced with the word technical.

*Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica.* Bachelor studies at this Faculty last 4 years/8 semesters. English language is taught in the first year (the first and the second semester). The courses are titled English language I and English language II and are both compulsory. Table 4 represents the general information on English language courses at the Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica. As it may be seen from the Table 4, there is no practical part of the lectures in any of the given courses, as a part of weekly class load. The results of the analysis of each subject are presented below.

Table 4

General information on English language courses at Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica

Study program	Module	Course title	Level of study	Type of course	Semester	Year of study	Weekly Class load
Mechanical engineering	Road traffic	English language I	Bachelor	Compulsory	I	I	2+0+0
Mechanical engineering	Road traffic	English language II	Bachelor	Compulsory	II	I	2+0+0

*The English Language I Course Curriculum.* The objective of the course is to “systematize the acquired knowledge of the English language with simultaneous adoption of terminology related to mechanical engineering and wider technical register; to train students to use technical literature in English; to produce verbal and written utterances in the field of mechanical engineering and technology and in everyday life situations; to use different dictionaries of different format; to know business and social etiquette” [7] The outcomes include proper usage of English language vocabulary in the field of mechanical engineering and technical sciences, to produce verbal and written utterances, to use professional literature in English, etc. It is noticeable that the aim and objective address the needs of mechanical engineering in general with no particular emphasis on road traffic profession or field. It is interesting that the content of curriculum is divided into two parts: theoretical and practical, even though there is no practical part defined in the number of weekly class load. The theoretical part does not include precisely defined topics but is rather descriptive and more general. It states that the professional terminology in the field of mechanical and technical engineering is acquired through thematic texts, but no theme has been mentioned. In addition, emphasis is put on the development of reading skills and text comprehension - again with no particular text pointed out. The definition of professional terms using synonymy and description, the interpretation of visual data, numerical expression and ability to understand native speakers are some of the items of the curriculum.

*The English Language II Course Curriculum.* The objective of this course implies that “students should be able to use literature in the field of mechanical engineering in English, as well as for written expression and verbal communication; to expand their corpus of professional terms in English; to acquire academic writing skills through clear and meaningful expression as well as concise verbal presentation skills; to raise the level of routine when doing certain tasks such as business letters, e-mails, telephoning, etc.; to gain orientation in scientific research as well as in the culture of ESP and its levels” [7]. The outcomes of the course indicate that the students are trained to improve their vocabulary in the field of mechanical engineering and are able to produce verbal and written utterances; to use more complex grammar units as well to be willing to explore and adopt wider English phraseology. Again, the objective and outcome are related to the needs and requirements of mechanical engineering, not to road traffic engineering. The content of the cur-

riculum is divided into two parts: theoretical and practical. In addition, there are no precisely defined topics or thematic fields in the curriculum. The theoretical part is descriptive and rather confusing: work with professional and thematic texts along with the improvement of professional terminology of technical sciences, especially in the field of mechanical engineering; the improvement of reading comprehension; emphasis on the culture of ESP, etc. Practical part mainly consists of grammar units.

It is understandable, to a certain extent, why these two curricula are closely related to mechanical engineering, giving that the Road Traffic is the module of the study program Mechanical engineering. In addition, one should have in mind that Mechanical engineering as well as technical sciences are wider terms and include many subfields that are related to some point. However, Road traffic engineering is the field that requires special attention from the aspect of ESP and as such should be approached too. In cases when teacher is in position to define and design his/her course, it is of great importance to pay attention to the needs of a respective profession and students.

*The Faculty of Traffic and Communication Sarajevo - Bosnia and Herzegovina.* The bachelor studies/ the first cycle of studies last three years - six semesters. The Faculty has a study programme Road traffic. Nevertheless, this is the only Faculty that does not have English language, or any other foreign language included in this study program. Therefore, there was nothing to be analyzed here. It is worth mentioning that there is the Aviation English, taught in the III year of study as an elective course. However, this course is a part of a study program Air traffic and does not fall within the domain of this research interest.

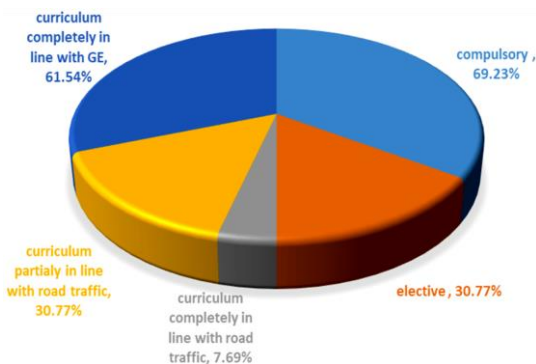


Fig. 1. Cumulative research results

The results revealed a lot of discrepancies in the analyzed curricula. There are curricula which titles do not match with the content; curricula which objectives and outcomes are very general and do not reflect either the content or the purpose of the course; curricula which objectives and outcomes are not sufficiently elaborated and seem confusing; curricula which contents do not meet the needs of road traffic engineering.

The summarized research results are presented in the Fig.1.

The results presented in the Fig. 1 reveal that in the majority of the study programs /curricula of the faculties analyzed in this research the General English is the most represented one. Out of 13 analyzed courses, 69.23 % are compulsory and 30.77 % are elective. It is important to point out that ESP should always have a compulsory status and a status of professional course since its main objective is to educate students to use English language in the situations related to their future occupation. 61.54 % of the curricula have content that solely includes General English, out of which 3 courses are elective. 30.77 % are curricula partially related to the field of road traffic engineering, that contains elements of both General English and English for specific purposes. Only 7.69 % are curricula which have content that fully meets the requirements of road traffic engineering, out of which one has a status of an elective course. The results are not encouraging; however, they are understandable to a certain extent and describe the overall situation regarding the English language and its status in the region. Namely, the problem is that a large number of students come to faculties with poor or insufficient knowledge of the English language and in the most of the cases are not able to follow the current curriculum. That is the point where language teachers have to balance between the students' knowledge and curriculum. This is the typical reason why General English is the most common content at faculties. Such problem need to be solved at the lower levels of education, that is, English language curriculum in secondary schools should aim to prepare students for challenges at the university level. Of course, it is not just the question of the appropriateness of secondary school curriculum but also the question of students' motivation and needs, purpose of learning and environment. The results regarding the teaching material show that 6 courses use teaching material that contains topics closely related to road traffic engineering. The language requirements cover the discourse, genre, vocabulary and grammar of the activities related to the road traffic engineering. In response to these requirements, the teaching

material for students of road traffic engineering is to consolidate the basic knowledge, to incorporate professional and general language skills and to help students master the English terminology related to their

**Formal descriptions in professional English language course.** As is obvious from what has been said, the coursework of English language in road traffic engineering focuses on professional communication skills (first of all writing and simplified speaking proficiency). Therefore, language-learning process should be built on basic language structures with lower requirements to the level of vocabulary variety.

Such teaching approach can be implemented on the base of skeleton structures. The methodology of skeleton language structures' data base development relies on the meaning-text theory [8], which was structurally implemented on the example of the analysis and classification of business communication speech acts [9]. If we follow the statement, that the transition from meaning to text and vice versa is performed by modeling a speaker's linguistic competences, then it means, that the empirical research data will make it possible to draw distinctions among speakers' linguistic competences through their formalization as a set of major language skeleton structures being the basis for the corresponding business communication acts. Hence, the chart shown in the Fig. 2 can be applied in the teaching process, incl. text tasks.

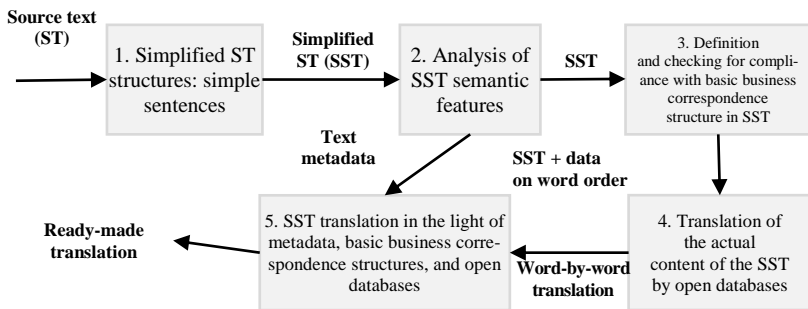


Fig. 2. The complex function chart for business correspondence text translations

The formalization approaches through the description of structures work well with simple sentences; that's why multiple sentences need to be simplified beforehand [10].

Structurally, grammatically, and semantically this chart relies on the meaning-text theory developed with regard to MT by I.A. Mel' nichuk togeth-

er with A.K. Zholkovskii, Yu.D. Apresyan, A.V. Gladkii, and L.N. Iordanskaya [8], and on the basis of achievements in structural semantics [11].

Then, the teaching process can be built upon the sequence of 8 steps.

**Step 1.** Sentence-type determination.

We search for the signs that indicate the sentence type (question marks). The absence or presence of question marks makes it possible to define the sentence type (affirmative or interrogatory); as a result, we can determine a linear (in affirmations) or nonlinear word order in the sentence (a question as a type of inversion in the target language).

**Step 2.** The search for and identification of simple sentences.

2.1. We search for conjunctions and find their matches in the target language. Conjunctions serve to mark limits of simple sentences in a complex sentence.

2.2. After that, we search for conjunction words in the derived sentence structures, define the relationship type, and find the matches in the target language.

**Step 3.** Determination of syntactic positions in simple sentences (identification of the subject, predicate, and subordinate elements) and identification of the corresponding structure in the target language.

**Step 4.** Morphological analysis of the subject and the predicate (main sentence elements) and search for their matches in the target language.

4.1. We find the subject's word forms in the two sentences, conduct the morphological analysis of its word forms and identify the relational morphemes (endings) to define the number.

4.2. We find the predicate's word forms in the two sentences and search for the *he* particle, whose

absence or presence determines the verb form either as affirmative or as negative. In the case of negation an auxiliary verb is used in the target language.

4.3. We conduct a morphemic analysis of the predicate's word forms, identify the relational morphemes, i.e., suffixes and endings, and define their structural meanings. In this case the number of the word form depends on the number of the subject's word form (identified in the previous phase).

4.4. We coordinate the structural meanings of the relational morphemes of the subject and predicate in the source language with the structural meanings in

the target languages.

4.5. We look for the word forms of the verbs in the database and find the respective model in the target language.

4.6. We translate the basic sentence elements into the target language in the light of the results obtained in steps 1 to 4.

**Step 5.** Search for the semantic tokens of supposition, wish, and recommendation and determination of the matching tokens in the target language.

**Step 6.** Search for set expressions from the bank of business communication frames and identification of the corresponding frames in the target language.

The identification of a frame in the bank of business communication frames ensures the semantic matching of this frame translated into English. The bank of frames acts as the information input filter: it sets the limits for using semantic frames of business correspondence and, hence, allows producing more exact semantic matches in the target language.

**Step 7.** Search for and translation of words not included as tokens in the structure of business communication sentences.

This phase consists in translating the actual content not considered in the preceding phases and involves electronic dictionaries.

**Step 8.** Supplementation of the translated sentence with the translated words of the actual content according to the results of steps 3 and 4.

As a result, we obtain the following translation algorithm into the target language: in the given sequence of 8 steps we have mandatory and invariant steps, the effect of which occurs in the case of finding the features checked in these steps, and namely conjunctions and conjunction words in step 2 and semantic tokens of supposition, wish, and recommendation in step 5.

The described language formalization is implemented in the professional translation systems such as TRADOS and can be applied for the organization of a teaching process as a software solution (see, for instance, the project LiveText [12, 13]).

**Conclusion.** If the goal of education is to train students for their future professional challenges, then there should be a harmonization between English language curriculum and students' and occupational needs. The labour market is in demand for highly-skilled professionals, who can handle the situations that require the use of ESP. Therefore, ESP curriculum should be focused on the issues closely related to profession, in our case - to road traffic engineering. The content shouldn't be generalized. Curriculum needs to be precise, informative and fully in line with the profession and students'



needs. This is particularly important in the cases when an unexperienced teacher takes over classes and needs to follow an already established curriculum. On the other hand, curriculum shouldn't be strict and rigid and should allow teachers to be creative and to integrate up-to-date material in their practice. Of significant importance is the collaboration between a language teacher and a subject teacher. A subject teacher can assist a language teacher in choosing topics and teaching material as the most suitable one. In addition, student's needs have to be taken into account when designing ESP curriculum. Students want to learn English for particular reasons; a language teacher needs to investigate such needs and to tailor the content of the curriculum respectively. Nowadays, the globalized environment places high requirements to the engineers and their English proficiency level. Thus, properly designed ESP courses will upgrade language teaching processes and improve students' communication competences. This will certainly lead to the internationalisation of future engineers and will enable them to be ready for a competitive global labour market.

### **Bibliography**

1. Škiljan D. Govor nacije. Golden marketing. – 2002. – P. 52–53.
2. Gatehouse K. Key issues in English for specific purposes (ESP) curriculum development // The Internet TESL Journal. – 2001. – № 7 (10). – P. 1–10.
3. Belcher, D. English for specific purposes: Teaching to perceived needs and imagined futures in worlds of work, study, and everyday life. TESOL Quarterly. – 2006. – № 40 (1). – P 133–156.
4. <https://www.fskl-cg.me/me/studiranje/osnovne-studije/drumski-saobracaj>
5. <https://www.ucg.ac.me/studprog/5/3/1/2021-drumski-saobracaj-2019>
6. [http://www.ftn.uns.ac.rs/n1806849875/sit\\_2020](http://www.ftn.uns.ac.rs/n1806849875/sit_2020)
7. <https://drive.google.com/drive/folders/1>
8. BPNpD4iPXBEL00a\_jIM\_j2CKLHfeIISJ
9. Мельчук И.А. Опыт теории лингвистических моделей «смысл–текст»: семантика, синтаксис. – М.: Языки русской культуры, 1999. – 345 с.
10. Austin J.L., Urmson J.O. How to do things with words: [the William James lectures delivered at Harvard University in 1955]. – Cambridge, Mass: Harvard Univ. Press, 2009. – 168 p.

11. Novikova A.V., Mylnikov L.A. Problems of machine translation of business texts from Russian into English // *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*. – 2017. – № 3 (51). – P. 159–169.

12. Mazarweh S. *Fillmore Case Grammar Introduction to the Theory*. Muenchen: GRIN Verlag GmbH, 2010.

13. Novikova A. *Direct Machine Translation and Formalization Issues of Language Structures and Their Matches by Automated Machine Translation for the Russian-English Language Pair* // *Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT*. – Koethen, Germany, 2018. – P. 85–92.

### **About the authors**

**Jelena Rajović** – PhD (philological sciences), professor, Academy of Applied Studies of Kosovo and Metohija, Serbia, Leposavić

**Marija Vešović** – PhD (philological sciences), associate professor, The University Adriatic Bar, Faculty for Traffic Communication and Logistics, Montenegro, Budva

**Anna Vyacheslavovna Mylnikova** – PhD (philological sciences), associate professor, Perm National Research Polytechnic University, Russia, Perm, e-mail: novikova@yandex.ru

**С.А. Бусыгина<sup>1,2</sup>, А.В. Тарутин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Сателлит-Инновация, г. Пермь

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕСТИРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ АВТОТЕСТОВ**

В этой статье исследуется эффективность применения автотестов в тестировании. Целью статьи является выделение и оценка основных достоинств и недостатков автоматизации тестирования. Рассматриваемое в статье программное обеспечение – это масштабное приложение с большим количеством бизнес-функций, разработанное на платформе .net.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, тестирование, автотест, автоматизация.

**S.A. Busygina<sup>1,2</sup>, A.V. Tarutin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Satellit Innovation, Perm

## **INCREASING THE EFFECTIVENESS OF TESTING THROUGH THE INTRODUCTION OF AUTOTESTS**

This article examines the effectiveness of the use of autotests in testing. The purpose of the article is to highlight and evaluate the main advantages and disadvantages of test automation. The software considered in the article is a large – scale application with a large number of business functions developed on the .net platform.

**Keywords:** software, testing, autotest, automation.

Жизненный цикл разработки программного обеспечения, как правило, состоит из нескольких этапов, которые проходит программное обеспечение. Проведем пример каскадной модели жизненного цикла программного обеспечения: планирование, анализ требований, проектирование, кодирование, тестирование и отладка, эксплуатация и сопровождение [1].

Разработка крупных программных продуктов может предполагать достаточно длительные циклы производства. С того момента, как вно-

сятся изменения в код продукта, и до попадания версии с изменениями на работающую платформу может пройти длительное время.

Это время формируется из различных этапов тестирования. Тестированием является проверка соответствия между ожидаемым и реальным поведением программы, осуществляемая на конечном наборе тестов. Тестирование программного обеспечения влияет на повышение качества продукта.

Как правило, собранный программный продукт проходит тестирование в группе разработки, позже он попадает в группу тестирования. Тестирование программного обеспечения также может производиться в несколько этапов в каждом из подразделений.

Тестирование может быть функциональным, также нефункциональным [2]. Функциональное тестирование направлено на проверку того, какие функции системы реализованы и насколько верно они реализованы в согласовании с требованиями. Нефункциональное тестирование направлено на проверку качественных характеристик компонента или системы, которые могут быть измерены различными величинами, не относящимися к конкретной функции или действию пользователя.

Тестирование программного обеспечения может проводиться как ручное – тестировщик исполняет определенные алгоритмы использования программы вручную, так и автоматизированное – вместо человека это делает машина. Автоматизированное тестирование, в отличие от ручного, упрощает процесс выявления дефектов с помощью специальных программ, чем сокращает затраты и время на цикл тестирования.

Для тестирования программного обеспечения на практике также используют различные тесты, которые разделяют по разным уровням, мы рассмотрим их в контексте пирамиды, предложенной Майком Коном (рисунок) [3].

Как показано на пирамиде, чем выше тест находится в пирамиде, тем больше частей программы он затрагивает. Ширина каждого уровня пирамиды показывает примерное количество тестов на каждом уровне по сравнению с другими уровнями. Можно сказать, что разработка ПО – это движение по пирамиде снизу вверх [4].

Высокоуровневые тесты ближе к пользователям: они проверяют бизнес-логику и пользовательские процессы, например, когда пользователь регистрируется на сайте или заполняет формы обратной связи.

Интеграционные тесты проверяют, как взаимодействуют между собой разные компоненты системы.

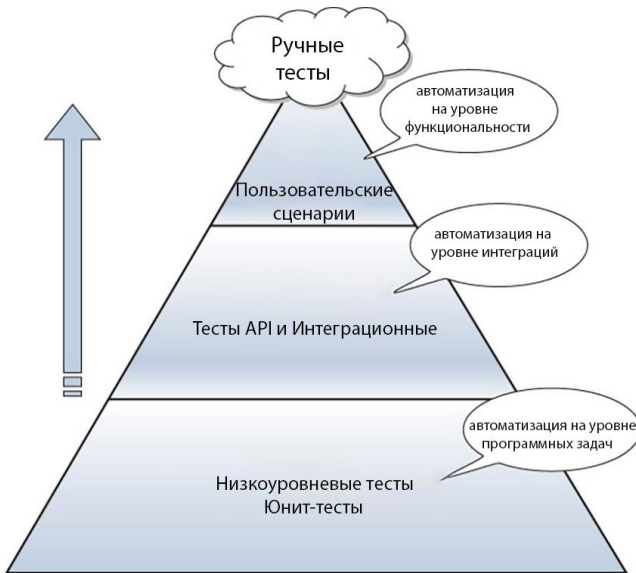


Рис. Пирамида автоматизации

Низкоуровневые тесты (компонентные, или юнит-тесты) помогают найти проблемы в отдельных частях кода, неисправность работы функций. Они должны составлять большинство ваших тестов.

Одним из способов подтвердить работоспособность сборки на этапе разработки являются юнит-тесты: функциональные тесты, исполняемые, как правило, сразу после сборки, проверяющие корректность работы методов, независимо от контекста остального приложения. Каждый юнит-тест является отдельным модулем, который проверяет небольшую часть исходного кода. Это могут быть классы, функции или методы классов. Как правило, юнит-тесты пишут разработчики, а не тестировщики [5].

Юнит-тесты справляются с проверкой фундаментальных компонентов системы, но также необходимо проверять, как компоненты взаимодействуют друг с другом. Проверкой того, как разные части программного обеспечения интегрируются друг с другом и внешними си-

стемами (операционной системой, оборудованием, базой данных и т.д.), занимаются интеграционные тесты.

В случае интеграционных тестов, наличие пользовательского интерфейса необязательно, компоненты системы взаимодействуют с тестируемым модулем с помощью интерфейсов. Под понятием «интерфейс» принято понимать набор средств, используемых для взаимодействия двух систем.

В интеграционном тестировании выполняются как функциональные, так и нефункциональные проверки. На этом уровне обычно используют серый или черный ящик, что подразумевает не использование или частичное использование внутренних механизмов системы.

Интеграционное тестирование делится на компонентный интеграционный уровень и системный интеграционный уровень. Компонентный проверяет взаимодействие между компонентами системы, системный – взаимодействие между разными системами.

Верхнеуровневые E2E тесты, которые также часто называют сквозными, проверяют работу программного обеспечения в целом, не только по прописанным требованиям.

Цель сквозного тестирования состоит в проверке всего программного обеспечения на предмет целостности данных, зависимостей, связей с другими системами, интерфейсами, базами данных, для проверки успешного выполнения полного производственного сценария, отчего их сложно автоматизировать. Следовательно, предпочтительнее использовать ручное. Сквозное тестирование обычно проводится после интеграционного тестирования. Для его проведения используются реальные данные и тестовая среда для имитации рабочего режима. Приемочное тестирование необязательно проводить тестировщику, его могут проводить и пользователи. Важно помнить, что E2E тесты автоматизируются сложнее, дольше, стоят дороже, сложнее поддерживаются и трудно выполняются при повторных проверках. Объем таких тестов должен быть минимизирован [4].

Сейчас мы исследуем эффективность автоматизации тестов. Показатели эффективности тестирования обычно состоят:

- из скорости тестирования;
- стоимости тестирования;
- сложности разработки тестов;
- количества пропущенных дефектов.

При этом не каждый продукт эффективно автоматизировать, небольшие проекты, с малым количеством бизнес-функций, коротким сроком жизни программного обеспечения или однократно повторяющимися сценариями будет проще отдать на ручное тестирование, так как разработка автотестов – сложнее и дороже.

В нашем случае мы рассматриваем масштабное приложение с большим количеством бизнес-функций, разработанное на платформе .net. Приложение существует более 10 лет на рынке, имеет регулярные релизы, а QA-отдел компании составляет небольшое количество специалистов. Автоматизация в нашем случае решает следующие задачи:

1. Автоматизация проверок повторяющихся сценариев.
2. Снижение нагрузки на QA специалистов.
3. Контроль основных функций приложения и отслеживание изменений.
4. Исключает ошибки вследствие человеческого фактора.
5. Возможность проводить тестирование с большим количеством устройств, версий браузеров и операционных систем.
6. Тестирование производительности приложения в условиях одновременной работы с большим количеством данных и пользователей.

Представим достоинства и недостатки автотестов и ручных тестов в виде результирующей таблицы.

#### Итоги сравнения автоматизированного и ручного тестирования

№ п/п	Характеристика	Автотест	Ручной тест
1	Стоимость разработки	Высокая	Низкая
2	Сложность разработки	Высокая	Низкая
3	Скорость исполнения	Высокая	Низкая
4	Возможность повторного использования	Да	Нет
5	Возможность нагрузочного тестирования	Да	Нет
6	Человеческий фактор	Нет	Да

Как видно по таблице, у каждого из процессов есть свои достоинства и недостатки. Автотесты обходятся дороже в разработке, при этом не требуют дополнительных ресурсов для исполнения, в то время как ручное тестирование дешевле в разработке, но тратит ресурсы при каждом исполнении. Автоматизация в долгосрочной перспективе снижает как расходы на тестирование, так и риски, связанные с челове-

ским фактором. Также ускорит процессы тестирования, увеличит покрытие платформ и версий операционных систем при тестировании.

Из недостатков автоматизированного тестирования можно выделить дороговизну и сложность разработки.

Исходя из этого можно сделать вывод, что для крупных систем с большим количеством функций больше подходит автоматизированное тестирование. Достаточное покрытие автотестами поможет в ускорении релизов, улучшит тестирование производительности и сократит вероятность пропуска дефектов.

### **Библиографический список**

1. Habr [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/111674/> (дата обращения: 12.12.2023).
2. Protesting [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.protesting.ru/testing/testtypes.html> (дата обращения: 12.12.2023).
3. Crispin L., Gregory J. More Agile Testing: Learning Journeys for the Whole Team. – Addison-Wesley Professional, 2014. – 544 p.
4. Кон М. Scrum: гибкая разработка ПО. – Диалектика-Вильямс, 2019. – 575 с.
5. Хориков В. Принципы юнит-тестирования. – Прогресс книга, 2021. – 320 с.

### **Сведения об авторах**

**Бусыгина Софья Александровна** – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ-18-1бз; QA-инженер, Сателлит Инновация, г. Пермь, e-mail: s89519485956@yandex.ru

**Тарутин Анатолий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: itas-np1u@yandex.ru



**Секция 2**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

**К.М. Лавров<sup>1</sup>, С.Ф. Тюрин<sup>1,2</sup>, О.В. Гончаровский<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТА В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IDE**

Описывается разработанный алгоритм реализации автомата–распознавателя с помощью IDE и его интеграция в компьютерную модель микроконтроллеров Intel 8051 и STMicroelectronics STM32. В процессе работы разработана, протестирована и отлажена программа автомата-распознавателя на языках программирования Ассемблер и Си. Отличие данной реализации от существующих заключается в использовании оптимальных инструментов для генерации и модификации кода для микроконтроллера, включая официальный набор инструментов от STMicroelectronics: STM32CubeIDE и STM32CubeMX. Это решение упрощает настройку, уменьшает объем необходимой памяти и улучшает совместимость.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, конечный автомат, интегрированная среда разработки, IDE, STM32Cube.

**K.M. Lavrov<sup>1</sup>, S.F. Tyurin<sup>1,2</sup>, O.V. Goncharovskiy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Perm State National Research University, Perm

<sup>2</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **PROGRAM REALIZATION OF FINITE-STATE MACHINE IN MICROCONTROLLERS USING IDE**

The article describes the developed algorithm of the process of implementation of automatic recognizer using IDE and its integration into the computer model of Intel 8051 and STMicroelectronics STM32 microcontrollers. In the process of work the program of automatic recognizer was developed, tested and debugged in Assembly and C programming languages. realization from the existing ones is in the use of optimal tools for generating and modifying code for the microcontroller, including the official set of tools from STMicroelectronics: STM32CubeIDE and STM32CubeMX. This solution simplifies setup, reduces the amount of memory required, and improves compatibility.

**Keywords:** microcontroller, finite-state machine, integrated development environment, IDE, STM32Cube.

С развитием современных технологий микроконтроллеры – малогабаритные вычислительные устройства, предоставляющие возможность создания сложных систем управления (системы реального времени, автоматизация производства, робототехника и др.), стали незаменимой частью в контроле различных автоматизированных систем. Работа с IDE (интегрированной средой разработки) представляет собой критически важный этап в разработке таких продуктов.

Автомат или конечный автомат [1] в данном контексте представляет собой модель, описывающую систему с конечным числом состояний, переходов между ними и действий, связанных с каждым состоянием или переходом. Основная идея состоит в том, чтобы представить поведение программы в виде набора состояний и правил переходов между ними. Для создания автомата используется метод программируемых логических матриц (PLA) [2]. Необходим автомат, который на основании входных данных в виде сигналов от двух ключей ( $a$ ,  $b$ ) будет определять корректность введенных данных и зажигать нужный светодиод ( $Z1$ ,  $Z2$ ), определяющий правильность порядка замыкания / размыкания ключей. Представление данной системы в виде черного ящика [3] отображено на рис. 1.

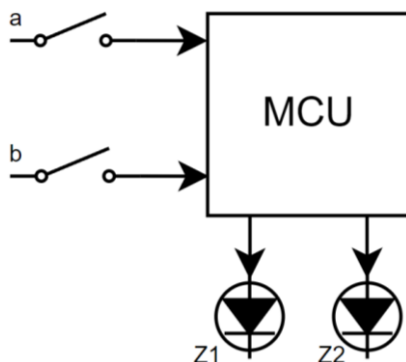


Рис. 1. Представление системы в виде черного ящика

Пусть для распознавания пароля при изначально разомкнутых ключах поочередно замкнуть питание на ключе  $b$ , потом на ключе  $a$ , после чего разомкнуть ключ  $b$ , при этом конечным состоянием является любое, при котором загорается любой из светодиодов. Табл. 1 характеризует изменения состояний автомата при изменении состояния ключа.

Таблица 1

Таблица переходов между состояниями автомата и выходов из них

y2y1	ab				
	00	01	11	10	
00	00H <u>00</u> 00	01H <u>01</u> 00	03H — —	02H <u>00</u> 10	
01	04H <u>01</u> 10	05H <u>01</u> 00	07H <u>11</u> 00	06H — —	
11	0CH —	0DH <u>11</u> 10	0FH <u>11</u> 00	0EH <u>11</u> 01	$\frac{y2y1(t+1)}{z1z2}$

ДНФ для таких переменных будет представлять систему

$$\begin{cases} y_2(t+1)_{y_2y_1ab} = y_2 \vee y_1 a \vee y_2 \bar{b}, \\ y_1(t+1)_{y_2y_1ab} = y_1 \vee b, \\ z_{1y_2y_1ab} = y_1 \bar{a} \bar{b}, \\ z_{1y_2y_1ab} = y_2 \bar{a} \vee y_1 \bar{a} \bar{b} \vee y_2 \bar{a} \bar{b}. \end{cases}$$

Для программирования были выбраны два микроконтроллера: Intel 80C51 и STMicroelectronics STM32F401. Эти микроконтроллеры были выбраны из-за популярности обоих, а также из-за разницы в характеристиках, приведенных в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная таблица некоторых характеристик микроконтроллеров Intel и STMicroelectronics [4–6]

Характеристика	8051	STM32
Архитектура	Гарвардская	ARM (RISC)
Разрядность	8-битный	32-битный
Частота работы	Несколько МГц	До 84 МГц
Память программ	До 64 КБ ROM	До 512 КБ Flash
Год создания	1980	2011
IDE(PL)	Proteus Desidn Suite (Assembly)	STM32Cube(C)

Так как для программирования микроконтроллера Intel 8051 программный код пишется язык программирования Ассемблер, то в качестве среды разработки следует использовать встроенную в Proteus [7] IDE с поддержкой Ассемблера.

В Proteus для создания проекта с микроконтроллером 8051 необходимо загрузить систему схемотехнического моделирования на сайте Labcenter Electronics, зарегистрироваться и установить ее. После этого создать проект, строящий шаблон платы с микроконтроллером 8051 (рис. 2). Откроется окно с двумя вкладками – схемой и кодом. Для этого на вкладке с компонентами требуется открыть библиотеку и выбрать необходимые элементы: ключ и светодиод. Потребуется шины питания и заземления, выбрать их можно на вкладке терминалов. На этапе сборки схемы можно пренебречь элементами, которые не влияют на функциональность модели (резисторами, резонаторами и т.д.). Также необходимо настроить шины питания. После построения схемы и реализации программы на ЯП Ассемблер требуется запустить отладку и проверить работоспособность системы.

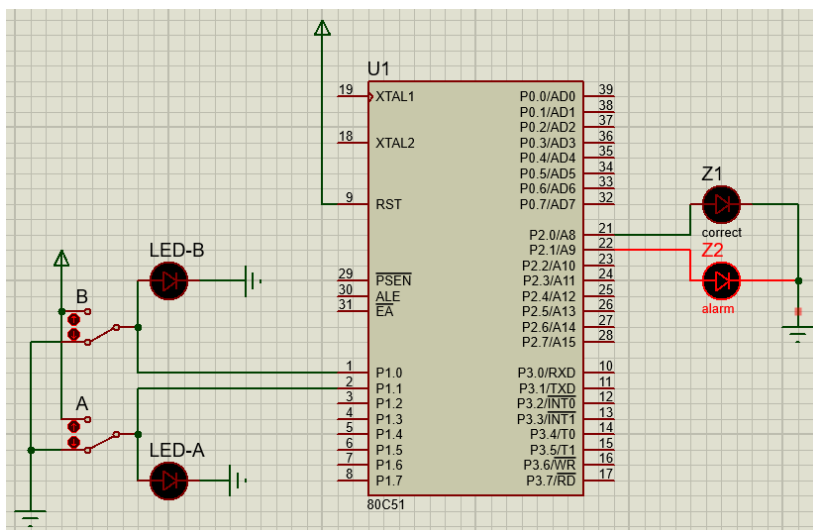


Рис. 2. Схема для микроконтроллера Intel 8051 в системе схемотехнического проектирования Proteus

В отличие от микроконтроллера Intel, STM32 имеет более сложную структуру и использует язык программирования С.

Для создания проекта с микроконтроллером STM32 необходимо использовать конфигуратор STM32CubeMX [8] и среду разработки STM32CubeIDE [9]. В STM32CubeMX выбирается нужный микро-

контроллер, после чего настраиваются пины ввода-вывода. В данном случае используются пины PC0, PC1 для вывода и PA0, PA1 для ввода [10]. Указывается использование внутреннего кварцевого резонатора для управления частотой System Core.

После настройки выбирается среда разработки STMCubeIDE и генерируется код. В IDE требуется открыть файл main.c, в котором описывается структура, содержащая константы, переменные для векторов состояния, ввода и вывода, а также массив структур. Затем в цикле реализовать процессы обработки и преобразования векторов. Решение требуется собрать, затем создать проект в Proteus для микроконтроллера STM32F401RE. Схема включает компоненты, аналогичные реализации на Intel 8051 (ключи, диоды, шины). Загруженное собранное решение тестируется в Proteus (рис. 3).

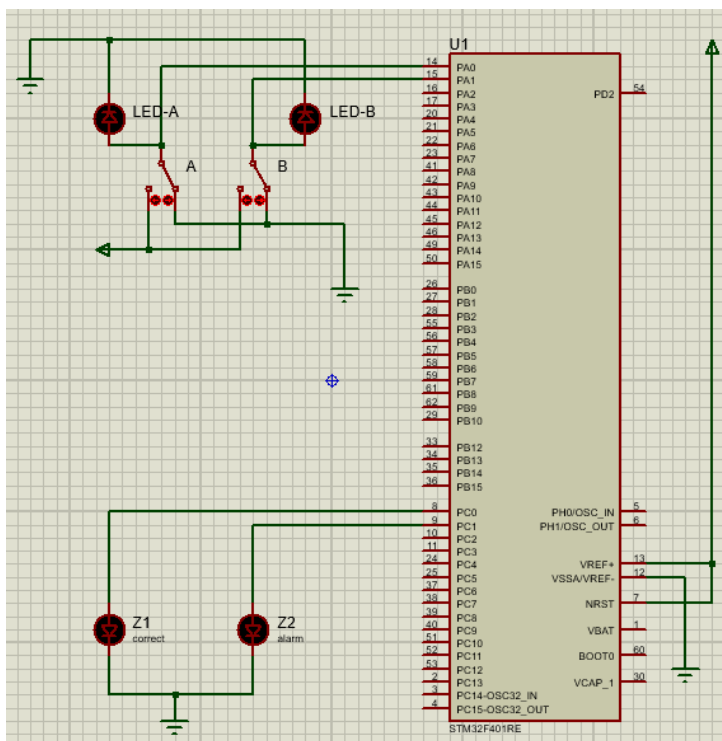


Рис. 3. Схема для микроконтроллера STM32F401RE в системе схемотехнического проектирования Proteus

Этот процесс позволяет программу для микроконтроллера STM32 в среде STM32Cube и проверить его в Proteus (в данном случае Proteus будет использоваться не как IDE, а как средство для симуляции работы микроконтроллера).

Разработанная реализация автомата на микроконтроллере отличается от уже существующей [2] использованием оптимальных инструментов для генерации и модификации кода для микроконтроллера.

В более ранней версии была использована связка: интегрированная среда разработки “Keil uVision” + генератор кода “STM32CubeMX”, в то время как предложенная реализация использует официальный набор инструментов от компании STMicroelectronics: интегрированную среду разработки “STM32CubeIDE” и вышеупомянутый генератор кода “STM32CubeMX”. Такое решение имеет ряд преимуществ:

- не требуется установка Java, без которой “Keil uVision” не сможет работать, что упрощает настройку компонентов разработки и уменьшает объем необходимой памяти;

- тесная совместимость “STM32CubeMX” и “STM32CubeIDE” позволяет избежать множества потенциальных ошибок и исключений, которые могут возникнуть при попытке изменения в “Keil uVision” автоматически сгенерированного, когда из “STM32CubeMX”.

### **Библиографический список**

1. Syllabus for Berkeley Course: Engineering Parallel Software. Finite State Machine [Электронный ресурс]. – URL: [https://patterns.eecs.berkeley.edu/?page\\_id=470](https://patterns.eecs.berkeley.edu/?page_id=470) (дата обращения: 12.10.2023).

2. Программирование микроконтроллеров с использованием IDE / С.Ф. Тюрин, Д.А. Ковыляев, Е.Ю. Данилова, А.Ю. Городилов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2021. – 100 с.

3. Пилинович Л.П., Гулянкина Н.А., Яцук А.Н. Общая теория систем – Минск: Изд-во Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники, 2011. – 39 с.

4. Explore intel’s history [Электронный ресурс]. – URL: <https://timeline.intel.com/> (дата обращения: 12.10.2023).

5. STM32 32-bit Arm Cortex MCUs [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (дата обращения: 12.10.2023).

6. Популярные микроконтроллеры в настоящее время [Электронный ресурс]. – URL: <https://protank.su/populyarnye-mikrokontrollery-v-nastoyashhee-vremya> (дата обращения: 12.10.2023).

7. Circuit Simulation Software [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.labcenter.com/simulation/> (дата обращения: 12.10.2023).

8. STM32CubeMX Expedite initialization of your overall system [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.st.com/content/st\\_com/en/stm32cubemx.html](https://www.st.com/content/st_com/en/stm32cubemx.html) (дата обращения: 12.10.2023):

9. Integrated Development Environment [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html> (дата обращения: 12.10.2023).

10. STMicroelectronics ARM® Cortex®-M4 32b MCU+FPU, 105 DMIPS, 512KB Flash/96KB RAM, 11 TIMs, 1 ADC, 11 comm. interfaces – STMicroelectronics, 2015 – 135 с.

### Сведения об авторах

**Лавров Кирилл Михайлович** – студент Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: [tgidk1812@gmail.com](mailto:tgidk1812@gmail.com)

**Тюрин Сергей Феофентович** – заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; профессор кафедры «Математическое обеспечение вычислительных систем» Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, e-mail: [tyurinsergfeo@yandex.ru](mailto:tyurinsergfeo@yandex.ru)

**Гончаровский Олег Владленович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [35911953@mail.ru](mailto:35911953@mail.ru)



**А.С. Улюков, А.Н. Евсеев**

Ульяновский государственный университет, Ульяновск

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
«ТЕХНОПРО» ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ  
МОДУЛЕЙ ИЗДЕЛИЯ АВИАЦИОННОГО  
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Цель представленной статьи заключается в обосновании актуальности и эффективности использования программного продукта систем автоматического проектирования технологических процессов «ТехноПро» в задачах по проектированию электронных модулей изделия авиационного приборостроения. В результате работы определена необходимость, преимущества и основные особенности использования данного решения в рассматриваемых задачах. Научная ценность работы состоит в комплексном анализе и обосновании высокой степени необходимости использования систем автоматического проектирования технологических процессов «ТехноПро» в проектировании электронных модулей для авиационной сферы. Материалы работы могут быть полезны для современных предприятий, основным вектором развития которых является цифровизация производства и существенное повышение эффективности выполнения технологических операций.

**Ключевые слова:** проектирование, системы автоматического проектирования технологических процессов «ТехноПро», электронный модуль, авиация, авиационное приборостроение, автоматизация.

**A.S. Ulyukov, A.N. Evseev**

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk

**THE USE OF TECHNPRO CAD SOFTWARE IN THE DESIGN  
OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE MANUFACTURE  
OF ELECTRONIC MODULES FOR AVIATION  
INSTRUMENTATION PRODUCTS**

The purpose of the presented article is to substantiate the relevance and effectiveness of using the Technopro CAD software product in the tasks of designing electronic modules of an aircraft instrument product. Because of the work, the necessity, ad-

vantages and main features of using this solution in the tasks under consideration are determined. The scientific value of the work consists in a comprehensive analysis and justification of the high degree of necessity of using the Technopro CAD system in the design of electronic modules for the aviation sector. The materials of the work can be useful for modern enterprises, the main vector of development of which is the digitalization of production and a significant increase in the efficiency of technological operations.

**Keywords:** design, CAD TP Technopro, electronic module, aviation, aviation instrumentation, automation.

В современной промышленной сфере актуализируется использование различных средств цифровых и информационных технологий. Использование таких инструментов позволяя повысить качество и эффективность выполнения технологических операций, а также снизить влияние человеческого фактора. Особенную актуальность набирают системы автоматического проектирования технологических процессов (САПР ТП) в авиационной сфере [1]. Авиация представляет собой ключевое направление развития экономики Российской Федерации, в связи с чем остро стоит вопрос, связанный с повышением качества и эффективности проектирования технологических процессов.

В рамках представленной работы освещается вопрос использования программного продукта САПР ТП «ТехноПро» при проектировании технологических процессов изготовления электронных модулей изделия авиационного приборостроения. Автором выполняется обоснование актуальности и необходимости использования именно данного продукта путем выделения основных особенностей и преимуществ, а также основных отличий относительно аналоговых программных пакетов.

САПР ТП «ТехноПро» представляет собой программное обеспечение, разработанное для автоматизации процесса проектирования технологических систем и процессов. Данный программный пакет позволяет проектировать и оптимизировать различные виды технологических систем, включая производственные линии, конвейеры, роботизированные системы и др. [2]. Система предоставляет множество инструментов для моделирования и анализа процессов, таких как визуальное проектирование схем, расчеты энергетических параметров, анализ пропускной способности, оптимизация расположения оборудования и многое другое.

САПР ТП «ТехноПро» позволяет создавать трехмерные модели технологических систем, симулировать их работу, проводить виртуальные испытания и анализировать результаты. Таким образом, систе-

ма помогает улучшить производительность, эффективность и надежность технологических процессов. Работа в САПР ТП «ТехноПро» обычно осуществляется через графический интерфейс, в котором пользователь может создавать и редактировать модели, задавать параметры и условия работы системы, запускать симуляции и анализировать результаты. Многие функции системы могут быть автоматизированы с помощью различных алгоритмов и инструментов [3]. Важно отметить, что САПР ТП «ТехноПро» является мощным инструментом для проектирования и оптимизации технологических процессов в авиационной сфере, который позволяет экономить время, ресурсы и снижать риски при разработке новых систем наряду с повышением экономической эффективности предприятий.

«ТехноПро» позволяет полностью автоматизировать технологический процесс подготовки производства, связанного с изготовлением электронных модулей авиационных изделий. В составе автоматизируемых частей также включено проектирование технологий, технологические и экономические отчеты, формирование документации и иное. Преимуществом использования «ТехноПро» перед своими аналогами является возможность использования базы конструкторской документации для ведения базы состава электронных модулей изделий и спецификаций предприятия. На рис. 1 представлен пример технологической подготовки процесса изготовления электронных модулей изделия посредством использования продукта САПР ТП «ТехноПро».

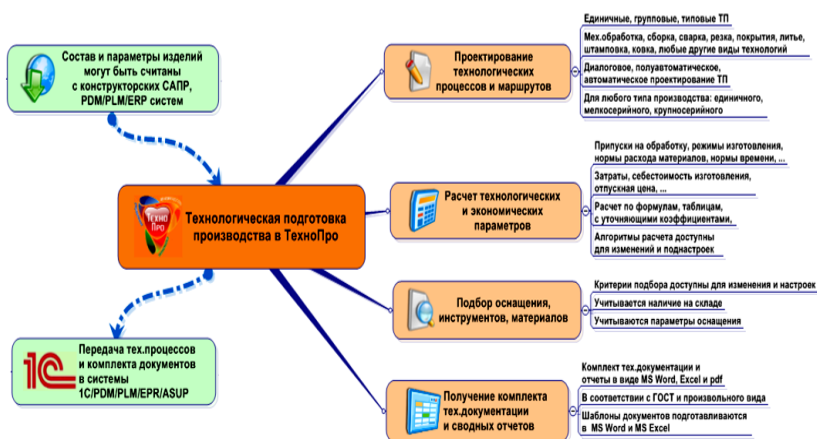


Рис. 1. Технологическая подготовка производства в «ТехноПро»

Как видно из рис. 1, «ТехноПро» действительно предоставляет возможности комплексного проведения подготовки по таким направлениям, как проектирование технологических процессов и маршрутов, расчет технологических и экономических параметров, подбор оснащения, получение комплекта технической документации и иного [4].

Основным преимуществом использования рассматриваемого продукта является возможность полной автоматизации каждого из данных процессов. Это, в свою очередь, существенно повышает техническую и экономическую эффективность авиационных предприятий, а также увеличивает надежность и безопасность изготавливаемых электронных модулей.

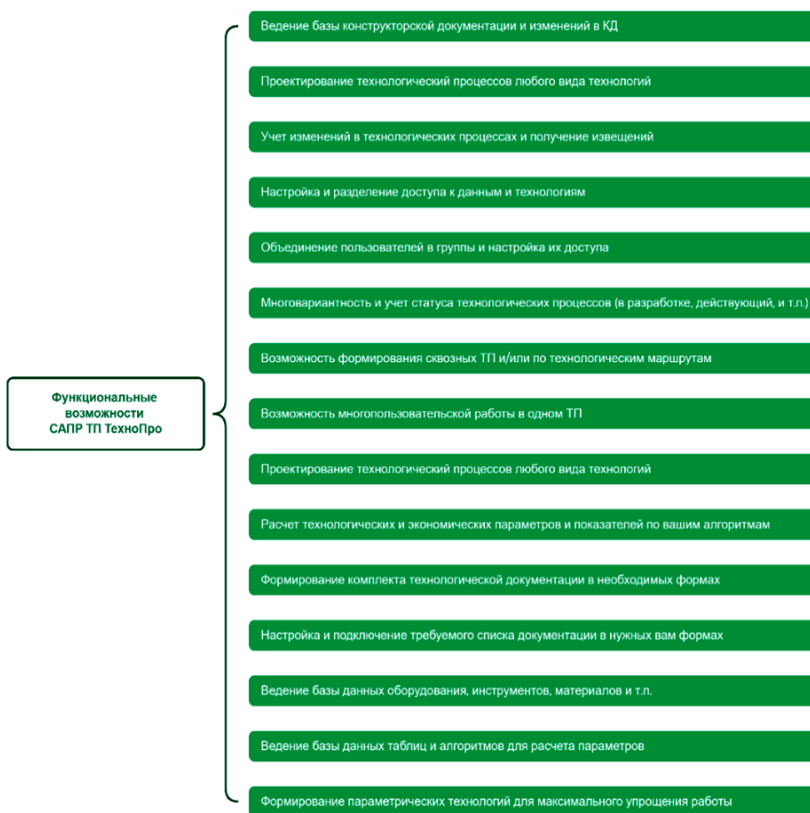


Рис. 2. Функциональные возможности САПР ТП «ТехноПро»

Важным аспектом использования САПР ТП «ТехноПро» в рассматриваемой сфере является возможность снизить затраты на проектирование. Благодаря автоматизации процессов предприятие может сократить количество ошибок и повторных работ, что позволит значительно сэкономить время и расходы на проект. Кроме того, благодаря использованию готовых элементов и стандартных решений инженерам не придется изобретать что-то заново, и они могут сосредоточиться на более сложных и важных задачах.

Также использование САПР ТП ТехноПро позволяет увеличить производительность работы. Благодаря автоматизации и оптимизации процессов, инженеры могут создавать более эффективные и надежные технологические схемы, что приводит к повышению эффективности производства и снижению потерь. Кроме того, возможность быстро и легко вносить изменения и модификации в проект также способствует увеличению гибкости и адаптивности предприятия к изменяющимся требованиям рынка [5]. На рис. 2 приведен результат систематизации основных функциональных возможностей анализируемого продукта, определяющих актуальность и необходимость его использования в рамках рассматриваемой задачи.

Помимо широких функциональных возможностей, САПР ТП «ТехноПро» имеет ряд объективных преимуществ относительно своих аналогов. На рис. 3 представлены основные преимущества при использовании «ТехноПро». Итак, САПР ТП «ТехноПро» является мощным инструментом, который предоставляет широкие возможности для проектирования и оптимизации технологических процессов изготовления электронных модулей в авиационном приборостроении.

Рассматриваемый программный комплекс обладает высокой функциональностью, что позволяет проводить все этапы проектирования технологических процессов на одной платформе. Он позволяет проектировать схемы монтажа и сверления плат, размещать компоненты, проводить трехмерное моделирование сборочных единиц, а также создавать физическую модель процессов в производственном цехе [6]. Такое интегрированное решение позволяет сократить время и усилия, затрачиваемые на проектирование и внедрение технологических процессов.

Рассматриваемое программное решение обладает высокой точностью и надежностью при проведении симуляции технологических процессов. Он позволяет проводить виртуальные испытания и оптимизиро-

вать технологические параметры, такие как расположение компонентов, последовательность операций и время выполнения этих операций. Такой подход позволяет предвидеть и устранять возможные проблемы и дефекты в процессе производства, что значительно снижает риски и возможные потери. Также важно отметить, что САПР ТП «ТехноПро» обладает широкими возможностями для автоматизации производственных процессов [7]. Он позволяет разрабатывать автоматизированные линии сборки, программировать и управлять роботизированными системами, автоматически контролировать и калибровать оборудование. Все это способствует повышению производительности и качества производства электронных модулей, а также снижает количество ошибок и брака.

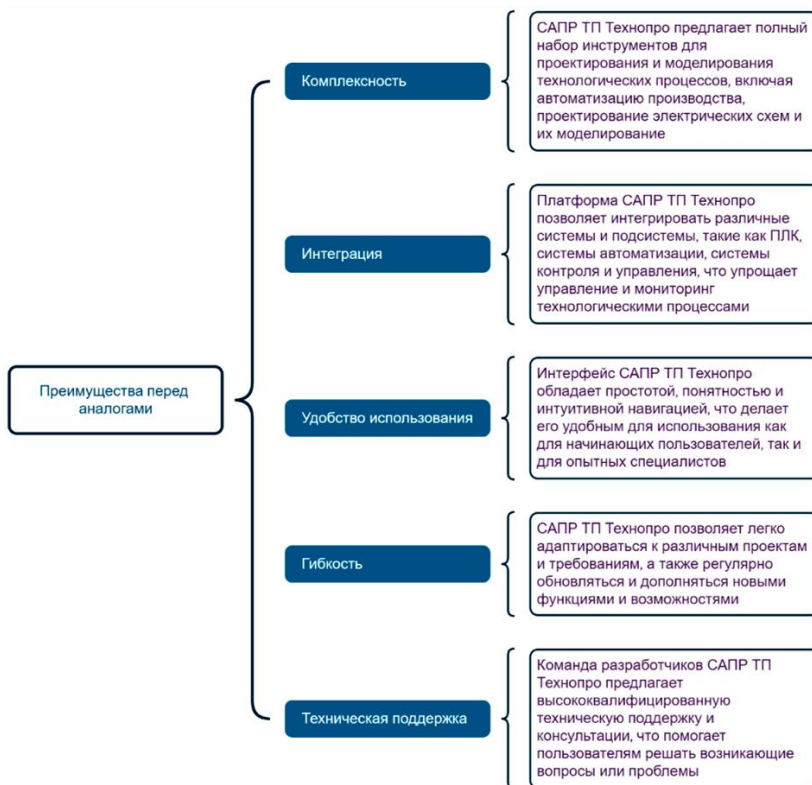


Рис. 3. Преимущества «ТехноПро» перед аналогами

Основным преимуществом «ТехноПро» является возможность автоматического проектирования ТП и использования его совместно с диалоговым и полуавтоматическим проектированием. Поэтому для автоматического проектирования предлагаются базы «Общие технологические процессы» (ОТП): «Штамповка», «Термообработка», «Гальваника», «Литье», «Прессование», «Сварка», «Окраска», «Сборка печатных плат», «Полумуфты», «Статоры», «Диски», «Корпуса», «Валы», «Шестерни», «Заклепки», «Шпонки», «Трубы». Эти ОТП используются пользователями в качестве основы для создания баз, ориентированных на конкретное производство.

Помимо всего этого, «ТехноПро» обладает открытым интерфейсом, поэтому его можно легко интегрировать с другими программными приложениями, используемыми в авиационном приборостроении. Это позволяет эффективно обмениваться данными между различными системами и управлять всеми аспектами производства электронных модулей [8]. Во многом все вышеуказанные преимущества и возможности являются следствием базирования на более чем 20-летних собственных исследованиях разработчиков в области автоматизации подготовки производства.

**Заключение.** Таким образом, основной целью представленной статьи являлось выполнение анализа относительно использования САПР ТП «ТехноПро» при проектировании технологических процессов изготовления электронных модулей в авиационном приборостроении. В результате работы актуализирована и доказана необходимость использования САПР ТП в промышленной сфере, а также акцентировано внимание на том, что для исходной задачи наиболее эффективным и оптимальным решением станет использование именно САПР ТП «ТехноПро».

Представленные в рамках статьи функциональные возможности и ряд преимуществ относительно своих аналогов свидетельствуют о необходимости использования именно САПР ТП «ТехноПро» при проектировании технологических процессов в авиационном приборостроении. Представленные материалы могут быть использованы при выборе и обосновании инструмента автоматизированного проектирования не только на авиационных, но и других предприятиях, преследующих своей целью повышение качества и эффективности выполнения технологических операций.

## Библиографический список

1. Сухих Н.Н., Рукавишников В.Л., Соколов О.А. Методы и средства снижения влияния человеческого фактора в гражданской авиации с использованием информационно-управляющих систем // Автоматика на транспорте. – 2022. – № 1. – С. 7–16.
2. Беседина И.П., Белякова А.П., Жаббаева В.А. Анализ систем проектирование технологических процессов. необходимость адаптации САПР ТП к особенностям механической обработки деталей // Теория и практика современной науки. – 2019. – № 1 (43). – С. 141–147.
3. Подготовительный этап адаптации САПР ТП вертикаль под аддитивное производство / Е.П. Злобин, А.В. Балякин, Н.Д. Лифанов, Е.А. Будкина // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 239–245.
4. Гришин М.В., Лебедев А.В., Павлов П.Ю. Использование wave-технологий при проектировании технологического оснащения в авиации // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – № 4-2. – С. 243–252.
5. Суздалева Е.А., Марченков А.О. САПР в авиастроении и проблемы, возникающие при переходе на безбумажное проектирование // Вестник науки и образования. – 2019. – № 21-1 (75). – С. 22–25.
6. Ширнин В.С. Актуальность современных систем автоматизированного проектирования // Вестник науки. – 2019. – № 6 (15). – С. 415–417.
7. Бехметьев В.И. Исследование прикладных особенностей системы автоматизированного проектирования технологических процессов «Вертикаль» в создании эффективных технологий изготовления деталей самолетов // Наука без границ. – 2020. – № 3 (43). – С. 53–67.
8. Использование wave-технологий при проектировании сборочных приспособлений в авиации / М.В. Гришин, А.В. Лебедев, С.А. Михайлов, П.Ю. Павлов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – № 1-2. – С. 334–340.

## Сведения об авторах

**Улюков Александр Сергеевич** – магистрант Ульяновского государственного университета, гр. САИУМ-0-22/1, г. Ульяновск, e-mail: aleksandr\_ulv@mail.ru

**Евсеев Александр Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование технических систем» Ульяновского государственного университета, г. Ульяновск, e-mail: evseev.evan@yandex.ru



**А.И. Суслов<sup>1</sup>, Г.А. Килин<sup>1</sup>, Б.В. Кавалеров<sup>1</sup>, И.Н. Грибков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>ОДК-Авиадвигатель, Пермь

## **ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ СУРРОГАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СУРРОГАТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Приведён литературный обзор с целью исследования применения суррогатного моделирования (surrogate modeling) и возможности применения нейросетевых технологий. Изучены определения суррогатного моделирования. Также суррогатные модели классифицированы и определены области их применения. В результате анализа выяснено, что для разработки суррогатных моделей систем управления газотурбинного двигателя для более электрического самолёта целесообразно применить нейросетевой метод аппроксимации.

**Ключевые слова:** суррогатное моделирование, нейросети, искусственный интеллект, системы управления, более электрический самолёт.

**A.I. Suslov<sup>1</sup>, G.A. Kilin<sup>1</sup>, B.V. Kavalеров<sup>1</sup>, I.N. Gribkov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>ODK-Aviadvigatel, Perm

## **OVERVIEW OF THE APPLICATION OF SURROGATE MODELING. STUDYING THE POSSIBILITIES OF APPLYING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN SURROGATE MODELING FOR THE DEVELOPMENT OF CONTROL SYSTEMS**

This article provides a literature review to explore the use of surrogate modeling and the possibility of using neural network technologies. Definitions of surrogate modeling have been studied. Also, surrogate models are classified and their areas of application are determined. As a result of the analysis, it was found that to develop surrogate models of control systems for a "gas turbine engine for a more electric aircraft", it is advisable to use a neural network approximation method.

**Keywords:** surrogate modeling, neural networks, artificial intelligence, control systems, more electric aircraft.

Переход авиастроительной промышленности к изготовлению более электрического самолёта подразумевает также и переход двигателестроителей на разработку новой силовой установки. Это означает, что при управлении газотурбинным двигателем для более электрического самолёта необходимо учитывать параметры электрогенератора. Происходит добавление дополнительной дисциплины – электромеханики. Упрощение модели ГТД способствует разработке в сжатые сроки. Упрощение подразумевает замену полной модели на аппроксимирующую модель. Такие модели называют суррогатными моделями [1] (surrogate modeling [2]).

В этой статье приведён литературный обзор с целью исследования применения суррогатного моделирования и возможности применения нейросетевых технологий. Актуальность данной работы состоит в необходимости использования новых подходов для разработки в сжатые сроки газотурбинных двигателей для более электрического самолёта и их систем управления.

**Определения суррогатного моделирования.** В статье [3] Е.В. Бурнаев, М. Панов, Д. Кононенко, И. Коноваленко определяют суррогатные модели как модели на основе данных. В качестве задач для таких моделей они выделяют суррогатную оптимизацию (*Surrogate-Based Optimization*) и аппроксимацию неизвестной зависимости по данным.

С.В. Скоробогатов определяет суррогатную модель как функцию, характеризующую зависимость выходных параметров от входных [4].

Авторы статьи [5] S. Ranftl и von der W. Linden определяют суррогатные модели как инструмент для распространения влияния неопределённостей входных переменных на неопределённость основанной на них функции. Такие модели используются для вычислительно дорогостоящих моделей приложений и для приложений с множеством неизвестных параметров модели.

В работе [2] авторы С. Wang, X. Qiang, M. Xu, T. Wu пишут, что суррогатные модели служат для облегчения вычислительной нагрузки. В качестве альтернативы, заменяющей трудоёмкое высокоточное моделирование (симуляцию), используется недорогая в эксплуатации аппроксимационная модель.

Исследователи А.С. Бурый и М.А. Шевкунов понимают суррогатное моделирование как методы интеллектуального анализа данных [6].

Такие методы предполагают этап обучения на одном наборе данных и этап применения для исследования других сегментов данных.

Анализ работ авторов из приведённых примеров отражает схожее понимание суррогатного моделирования. То есть суррогатное моделирование – это подход к вычислительно-дешевому моделированию путём аппроксимации неизвестной зависимости по данным.

**Классификации суррогатных моделей.** Изучив работы других авторов, суррогатные модели можно классифицировать: по методам получения аппроксимирующей функции; по количеству данных; по строению.

К методам получения суррогатных моделей относятся: метод крикинга (также известного как гауссовская регрессия процесса), метод Монте-Карло, метод опорных векторов, метод адаптивной регрессии, методы стохастического градиентного спуска, искусственные нейронные сети и др. [2, 6–8].

По количеству данных суррогатные модели делятся на многомерные и маломерные [2]. Также в работе исследователей Х. Луо и А. Кареем [9] показан способ аппроксимации без преобразования многомерных данных в маломерные.

Исследования авторов С. Wang, X. Qiang, M. Xu и T. Wu в статье [2] показывают, что самостоятельная суррогатная модель может добиться хороших результатов аппроксимации в определённых задачах, однако не во всех. Поэтому для увеличения области применения используются так называемые гибридные суррогатные модели. Также исследователи А.С. Бурый и М.А. Шевкунов [6] предполагают различные варианты исполнения, такие как «модели с низкой точностью» для предварительного сбора данных; многоэтапные процедуры переработки информации для поддержания заданного качества; варианты исполнения на неполном объеме данных о исследуемых явлениях.

**Области применения суррогатных моделей.** Под особенностью применения можно выделить использование экспериментальных и модельных данных для получения упрощённой версии модели.

Первая область применения заключается в использовании разноточных данных для получения суррогатной модели. В работе [10] авторы Е.В. Бурнаев и А.А. Зайцев исследуют проблему использования одновременно точной функции (натурных данных) и грубой функции (данные компьютерного моделирования) большего размера для полу-

чения суррогатной модели. Исследователи предложили способ решения проблемы, однако только для метода гауссовской регрессии процесса и только для авиастроительной отрасли при моделировании зависимости подъемной силы крыла самолета от геометрических параметров крыла.

Вторая область применения основывается на оценке правдоподобности суррогатной модели. Исследования S. Ranftl и von der W. Linden [5] затрагивают проблему оценки неопределённости суррогатной модели по сравнению с исследуемой функцией в целом, а не только к конечному набору точек этой функции. Предложенное решение проблемы основывается на добавлении точек выходов суррогатной модели к набору точек исследуемой функции, а также на количественной оценке соотношения суррогатных выходных точек к точкам исследуемой функции. При этом S. Ranftl и von der W. Linden исследовали только метод Гауссовской регрессии процесса для байесовской вероятности.

Третья область применения заключается в расширении знаний «науки о данных». Исследователи А.С. Бурый, М.А. Шевкунов в своей работе [6] отмечают использование анализа больших данных (Big Data) для суррогатного моделирования. То есть получение новых знаний из разнотипных измерительных данных. Другие авторы, X. Luo и A. Kareem, в своей работе [9] отмечают проблему преобразования данных из их оригинального многомерного вида в маломерный для уменьшения вычислительных затрат.

**Нейросетевое суррогатное моделирование систем управления.** Изучение темы перехода к «более электрическому самолёту» [11], а в частности предположительной работы объекта «газотурбинный двигатель для более электрического самолёта» приводит к пониманию того, что система управления может быть разработана исходя из научного задела в разработке «конвертированных авиационных двигателей для наземных газотурбинных электростанций» [12]. При разработке нового ГТД необходимо учитывать параметры электрогенератора. Например, при исследовании поведения модели электрогенератора, установленного на валу высокого давления от модели ГТД, необходима температура окружающей среды вокруг электрогенератора [11]. Поэтому остальные процессы в ГТД можно упростить (аппроксимировать).

Анализируя источники и научный задел авторов данной статьи [12–15] для разработки суррогатных моделей систем управления га-

зотурбинным двигателем для более электрического самолёта, целесообразно применить нейросетевой метод аппроксимации. Этот выбор обоснован анализом исследований:

– авторы S. Ranftl и von der W. Linden в работе [5] утверждают, что суррогатные модели с нелинейными параметрами (такие как нейросети) могут давать веские основания для высокой производительности взамен полной потери возможности аналитической обработки. В данном контексте это не является критичной проблемой, поскольку разработка объекта «газотурбинный двигатель для более электрического самолёта» задействует инженеров из разных областей науки. Это значит, что для использования суррогатных моделей непрофильными инженерами из других областей достаточно поверхностных знаний;

– авторы А.С. Бурый, М.А. Шевкунов [6] отмечают использование анализа больших данных (Big Data) для суррогатного моделирования. X. Luo и A. Kareem в своей работе [9] отмечают проблему преобразования данных из их оригинального многомерного вида. Поэтому можно сделать вывод о том, что использование особенности нейросетей по обработке данных в многомерном виде для анализа больших данных (Big Data) будет способствовать разработке суррогатной модели авиационного ГТД с большей продуктивностью;

– статья авторов [2] С. Wang, X. Qiang, M. Xu и T. Wu, которые утверждают, что увеличения области применения можно добиться, используя гибридные суррогатные модели. Другими словами, увеличение точности аппроксимации при различных вариантах исполнения, высказанных в работе авторов А.С. Бурого, М.А. Шевкунова [6]. Эти особенности свойственны нейросетевым моделям из-за их простоты реализации.

**Заключение.** Анализ литературного обзора выявил, что авторы из разных областей науки приходят к схожему пониманию суррогатного моделирования. То есть суррогатное моделирование – это подход к вычислительно-дешевому моделированию путём аппроксимации неизвестной зависимости по данным.

Изучив работы других авторов, суррогатные модели можно классифицировать: по методам получения аппроксимирующей функции [2, 6–8]; по количеству данных [2, 9]; по строению [2, 6].

Области применения использования суррогатных моделей: получение суррогатной модели на разноточных данных [10]; оценка прав-

доподобности суррогатной модели [5]; расширение знаний «науки о данных» [6, 9].

Представленный в публикации анализ является результатом работ по созданию перспективных суррогатных моделей для АО «ОДК-Авиадвигатель» [14, 15]. В настоящее время авторами статьи проводятся исследования по использованию искусственных нейронных сетей, обученных по результатам экспериментов на реальном объекте, в качестве суррогатных моделей.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-29-00381, <https://rscf.ru/project/23-29-00381/>.

### Библиографический список

1. Бурнаев Е.В., Приходько П.В. Методология построения суррогатных моделей для аппроксимации пространственно-неоднородных функций // Труды МФТИ (Информатика, математика). – 2013. – Т. 5, № 4. – С. 122–132.

2. Recent Advances in Surrogate Modeling Methods for Uncertainty Quantification and Propagation / C. Wang, X. Qiang, M. Xu, T. Wu // Symmetry. – 2022. – № 14 (6). – P. 1219. DOI: 10.3390/sym14061219

3. Сравнительный анализ процедур оптимизации на основе гауссовских процессов / Е.В. Бурнаев, М. Панов, Д. Кононенко, И. Коноваленко // Visnyk NTUU KPI Seriiia – Radiotekhnika Radioaparato-buduvannia. – 2018. – С. 167–172.

4. Скоробогатов С.В. Факторный анализ процессов в камере сгорания авиационного двигателя как основа для обоснования номенклатуры эксплуатационных требований // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2020. – № 3. – С. 6–18.

5. Ranftl S, von der Linden W. Bayesian Surrogate Analysis and Uncertainty Propagation // Physical Sciences Forum. – 2021. – № 3 (1). – P. 6. DOI: 10.3390/psf2021003006

6. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Суррогатное моделирование распределенных информационных систем по большим данным // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2019. – № 5 (51). – С. 43–50.

7. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. – Springer, 2008. – 745 p.

8. Суррогатное моделирование в строительстве / М.Р. Гарифуллин, Е.А. Наумова, О.В. Жувак, А.В. Барабаш // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 2 (41). – С. 118–132.

9. Luo X., Kareem A. Deep convolutional neural networks for uncertainty propagation in random fields // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – № 34 (12). – P. 1043–1054. DOI: 10.1111/mice.12510

10. Бурнаев Е.В., Зайцев А.А. Суррогатное моделирование разноточных данных в случае выборок большого размера // Математические модели, вычислительные методы. Информационные процессы. – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 97–109.

11. Концепция создания электрифицированного авиационного двигателя / Ф.Р. Исмагилов, В.Е. Вавилов, Р.Р. Уразбахтин, Р.С. Старков // Вестник УГАТУ. – 2020. – № 3 (89). – С. 52–58.

12. Кавалеров Б.В., Суслов А.И. Автоматизация испытаний систем управления конвертированными газотурбинными установками на основе применения математической модели электросистемы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2019. – № 57. – С. 105–117.

13. Кавалеров Б.В., Килин Г.А., Суслов А.И. Разработка и применение искусственных нейронных сетей для управления энергетическими газотурбинными установками // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: матер. всерос. науч.-техн. конф.: в 2 т. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2022. – Т. 1. – С. 102–108.

14. Pre-training method in the tasks of obtaining surrogate models of gas turbine units for gas turbine electric power stations / G. Kilin, B. Kavalеров, A. Suslov, I. Tyatenkov // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 411. – Art. 01007. – P. 1–7.

15. Selection of pre-training parameters for synthesizing surrogate models of gas turbine units for gas turbine electro power stations / G. Kilin., B. Kavalеров, A. Suslov, I. Tyatenkov // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 411. – Art. 01006. – P. 1–7.

### Сведения об авторах

**Суслов Артем Игоревич** – аспирант, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: AISuslov@pstu.ru

**Килин Григорий Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [thisisforasm@rambler.ru](mailto:thisisforasm@rambler.ru)

**Кавалеров Борис Владимирович** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [kbv@pstu.ru](mailto:kbv@pstu.ru)

**Грибков Игорь Николаевич** – начальник отдела расчетно-экспериментальных работ и проектирования систем автоматического управления, ОДК-Авиадвигатель, г. Пермь, e-mail: [gribkov@avid.ru](mailto:gribkov@avid.ru)



**И.И. Калимуллина, А.М. Шайхутдинова**

Казанский государственный энергетический университет, Казань

## **РОЛЬ МЕХАНИКИ В РАЗРАБОТКЕ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ РОБОТОТЕХНИКИ**

Рассматривается роль механики в разработке и проектировании эффективных систем робототехники. Обсуждаются ключевые аспекты применения механических принципов и технологий в создании роботов, а также их влияние на повышение производительности и функциональности робототехнических систем. Рассматриваются основные аспекты механического проектирования, включая выбор материалов, конструкций и методов производства, их влияние на характеристики роботов, а также перспективы развития данной области.

**Ключевые слова:** механика, робототехника, механическое проектирование, материалы, конструкции, производство, эффективность.

**I.I. Kalimullina, A.M. Shaykhutdinova**

Kazan State Energy University, Kazan

## **THE ROLE OF MECHANICS IN DEVELOPING AND DESIGNING EFFICIENT ROBOTICS SYSTEMS**

The article discusses the role of mechanics in the development and design of efficient robotics systems. It delves into the key aspects of applying mechanical principles and technologies in creating robots, as well as their influence on enhancing the performance and functionality of robotic systems. The paper examines fundamental aspects of mechanical design, including material selection, structures, manufacturing methods, their impact on robot characteristics, and the prospects for the development of this field.

**Keywords:** mechanics, robotics, mechanical design, materials, structures, manufacturing, efficiency.

Учитывая стремительный прогресс в робототехнике, изучение и совершенствование механических аспектов играет решающую роль в создании более эффективных и гибких роботизированных систем. Разработка таких систем находит применение в различных областях, от промышленности до медицинских исследований и автономного управления, что подчеркивает актуальность изучения и оптимизации механических принципов в этой области. Цель данной статьи – прояснить влияние механики на эффективность роботизированных систем,

подчеркнуть ее важность в современных технологиях и потенциал для дальнейших исследований в этой области.

Механика является неотъемлемой частью разработки и проектирования робототехнических систем, определяя их функциональность, надежность и эффективность. О важности этого аспекта свидетельствуют многочисленные исследования, оценивающие роль механики в конструкции роботов как ключевого фактора, влияющего на их производительность. Например, исследования показывают, что выбор материалов, используемых в конструкции робота, напрямую влияет на его маневренность и долговечность, что крайне важно в условиях интенсивной эксплуатации [1, 2].

Использование компьютерного моделирования при разработке робототехнических систем открывает возможности для виртуального тестирования конструкций перед их физической реализацией. Такой подход позволяет инженерам провести детальный анализ различных аспектов конструкции, включая прочность материалов, динамику движения и оптимальные рабочие параметры, что позволяет выявить потенциальные проблемы на этапе проектирования. Такое виртуальное тестирование сокращает время создания прототипов и снижает стоимость разработки, поскольку отпадает необходимость в проведении физических экспериментов и производстве множества прототипов роботов для тестирования [3].

Кроме того, инновационные технологии производства, такие как 3D-печать, революционизируют процесс создания компонентов для роботизированных систем. 3D-печать позволяет создавать детали различных форм и сложности, которых ранее было сложно достичь с помощью традиционных методов производства. Такой подход также помогает оптимизировать конструкцию, создавая более легкие и прочные компоненты, что напрямую влияет на повышение производительности и функциональности роботов [4]. Кроме того, использование 3D-печати помогает экономить материалы и снижать затраты на трение в узлах за счет минимизации нагрузок и возможности создания сложных узлов из двух деталей [5].

Симбиоз компьютерного моделирования и инновационных методов производства открывает новые горизонты для разработки более эффективных и инновационных роботизированных систем. Значительное сокращение времени проектирования и производства в сочетании с улучшением характеристик и функциональности роботов за счет ис-

пользования новейших технологий становятся ключевыми факторами развития этой области.

Интеграция механических концепций с такими передовыми областями, как искусственный интеллект и сенсорные технологии, является важным направлением дальнейшего развития робототехники. Современные исследования в этой области направлены на создание более эффективных и интеллектуальных роботов путем оптимизации их механической структуры в сочетании с передовыми технологиями искусственного интеллекта.

Одним из ключевых аспектов этого направления является улучшение управления роботами за счет оптимизации их механических параметров. Интегрируя датчики и искусственный интеллект в механические системы, исследователи и инженеры стремятся создать роботов, способных адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. Например, использование алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей позволяет роботам анализировать данные датчиков и принимать более точные и адаптивные решения в режиме реального времени [6].

Инновационные методы управления, основанные на механических концепциях и интеграции с другими областями, позволяют создавать роботов с повышенной гибкостью и способностью к самообучению. Например, разработка механических систем, способных быстро адаптироваться к новым условиям, позволяет роботам выполнять широкий спектр задач, от промышленного производства до сложных медицинских процедур или автономного управления на транспорте.

Перспективы механики в робототехнике включают в себя не только материальный и технологический прогресс, но и развитие методов обучения и адаптации роботов. Исследования в этой области направлены на создание более гибких и самообучающихся систем, способных эффективно выполнять разнообразные задачи в динамично меняющихся условиях.

В заключение следует отметить, что роль механики в разработке и проектировании роботизированных систем является основополагающей, она не только определяет их производительность, функциональность и эффективность, но и открывает путь для инноваций. Использование передовых методов компьютерного моделирования, инновационных производственных подходов и интеграция механических концепций с другими передовыми областями, такими как искусственный интеллект и сенсорные технологии, не только ускоряет процесс разработки, но и обеспечивает создание более адаптируемых, интел-

лектуальных и функциональных робототехнических систем. Дальнейшие достижения в области механики в робототехнике будут играть решающую роль в создании инновационных решений, способных решать разнообразные задачи и эффективно взаимодействовать с окружающим миром в различных сферах человеческой деятельности.

### **Библиографический список**

1. Kothe C.A., Makeig S. BCILAB: A platform for brain-computer interface development // Journal of Neural Engineering. – 2013. – P. 1–25.

2. Шайхутдинов К.А. Роль жидкостной карбонитрации в комбинированной химико-термической обработке сталей ВКС-7 и ВКС-10 // Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: материалы междунар. молодеж. науч. конф.: в 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань, 2023. – С. 819–821.

3. Филимонов В.А. Когнитивная инфраструктура обучения людей и роботов (текст пленарного доклада) // Робототехника и искусственный интеллект – 2014: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Красноярск: Центр информации, 2014. – С. 205–209.

4. Витяев Е.Е. Формализация когнитива // Нейроинформатика. – 2016. – Т. 9, № 1. – С. 26–36. – URL: [http://math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/kognitom\\_formalization.pdf](http://math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/kognitom_formalization.pdf)

5. Сабиров Р.И., Маслов И.Н. Сухое трение в примере Пэнлве-Клейна // Международная науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова: сб. докл. – Белгород, 2023. – С. 295–297.

6. Филимонов В.А., Филимонова Т.А. Гомеостатические системы рефлексивного управления популяциями // Математические структуры и моделирование. – 2014. – № 3 (31). – С. 99–108.

### **Сведения об авторах**

**Калимуллина Ильза Ильнарловна** – студентка Казанского государственного энергетического университета, гр. ЭПТ-1-22, г. Казань, e-mail: [ilza.kalimullina6@mail.ru](mailto:ilza.kalimullina6@mail.ru)

**Шайхутдинова Альбина Маратовна** – студентка Казанского государственного энергетического университета, гр. ЭПТ-1-22, г. Казань, e-mail: [albinakznrt@mail.ru](mailto:albinakznrt@mail.ru)

**И.А. Белов, И.Р. Зиятдинов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Объектом исследования являются перспективные методы создания много-связных систем автоматического управления газотурбинными электростанциями. Проводится анализ тенденций и перспектив применения адаптивного управления в электроэнергетике. Система автоматического управления газотурбинной установки является важным аспектом в автономной работе газотурбинной электростанции. С целью увеличения качества электроэнергии по частоте необходимо улучшить управление газотурбинной установкой в связке с электроэнергетической системой. Данная теория представляет собой необходимость поддержки стабильного напряжения, частоты, формы, а также амплитуды сигнала. При этом следует ограничить колебания и возмущения в электросети. Системы автоматического управления газотурбинной установки должны обладать высокой гибкостью и адаптивностью, так как режимы работы электростанции непостоянны. Программный код штатной системы автоматического управления электроэнергетической газотурбинной установки используется как образец модели системы автоматического управления. В данной статье изучаются перспективные методы увеличения качества адаптивного управления, также их применение в современном мире. Модели выполнены совместно в составе программного моделирующего комплекса КМЭС и MatLab.

**Ключевые слова:** газотурбинная электростанция, газотурбинная установка, адаптация, моделирование, эталонная модель, нечеткая логика, нейронные сети, сравнительный анализ.

**I.A. Belov, I.R. Ziyatdinov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **RESEARCH OF PERSPECTIVE METHODS OF ADAPTATION OF THE CONTROL SYSTEM OF A GAS TURBINE INSTALLATION**

In this article the object of research is promising methods of creating multi-linked automatic control systems for gas turbine power plants. The trends and prospects of application of adaptive control in the electric power industry are analyzed. The automatic control system of a gas turbine plant is an important aspect in the autonomous operation of a gas turbine power plant. In order to increase the power quality in frequency, it is necessary to improve the control of the gas turbine plant in conjunction with the electric power system. This theory presents the need to support stable volt-

age, frequency, waveform as well as amplitude of the signal. At the same time it is necessary to limit fluctuations and perturbations in the electric power system. Automatic control systems of GTU should have high flexibility and adaptability, as the modes of power plant operation are not constant. The program code of the standard automatic control system of the electric power GTU is used as a sample of the automatic control system model. This paper studies promising methods for increasing the quality of adaptive control, also their application in the modern world. The models are performed jointly as part of the KMES and MatLab modeling software package.

**Keywords:** gas turbine power plant, gas turbine plant, adaptation, modeling, reference model, fuzzy logic, neural networks, comparative analysis.

Изучение тенденций развития авиационных газотурбинных установок (ГТУ) и их систем автоматического управления (САУ) выявляет несколько ключевых факторов, определяющих сложность и взаимосвязь функций современных САУ:

1) сложность конструкции, которая является многомерным объектом, изменяющим свою структуру и рабочие параметры с целью достижения максимального результата при разных условиях эксплуатации;

2) увеличение количества требований к надежности, качеству и эффективности;

3) объединение системы управления газотурбинной установки с газотурбинной электростанцией.

За счет перечисленных факторов задачи анализа и управления в газотурбинных установках и их системах автоматического регулирования значительно усложняются. Необходимо разработать новую систему регулирования, которая сможет осуществлять обработку, анализ данных, адаптацию к непостоянным условиям эксплуатации. В настоящее время газотурбинным установкам характерны:

1) повышенная точность и оперативность за счет современных информационных технологий. Низкая зависимость от человеческого фактора при условиях эффективности работы авиационной техники;

2) серьезные изменения внешних условий полета, а также режимов работы.

Таким образом, получить точную модель работу ГТУ крайне трудно, так как газотурбинные установки считаются сложными объектами при работе в экстремальных условиях.

Исходя из вышеизложенного, проведем анализ перспективных методов управления газотурбинными установками. Примером модели системы автоматического управления выступает программный код штатной САУ [1, 2] электроэнергетической газотурбинной установки.

**Использование адаптивной САУ с эталонной моделью.** Эталонная модель (ЭМ) – математическая модель объекта, описывающая его поведение при идеальных условиях. За счет эталонной модели появляется возможность определить ошибку управления при сравнении текущих значений с эталонными.

Использование эталонной модели в адаптивных системах автоматического управления имеет ряд преимуществ:

- адаптацию к изменениям в реальных условиях эксплуатации;
- оптимизацию процесса управления с уменьшением затрат энергии;
- высокую точность управления;
- высокую стабильность работы объекта.

Также в адаптивных системах автоматического управления применяются возможности раздельного рассмотрения регуляторов координатного управления (РКУ) в связке системы и регулятора параметрического [3] или сигнального управления [4] в системе адаптации (рис. 1, 2). Благодаря этому методу появляется возможность изменения принципов построения, структуры и параметров регуляторов координатного управления.

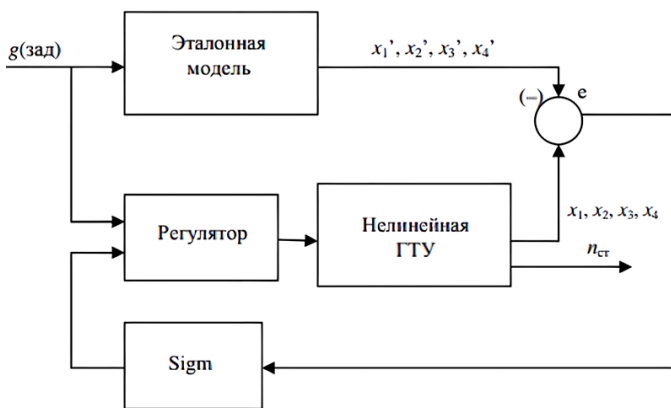


Рис. 1. Модуль сигнального адаптивного управления

Одной из главных проблем САУ газотурбинной установки является обеспечение устойчивости многофункциональной системы автоматического управления (МСАУ) при различных режимах работы. С целью решения данной проблемы проводится анализ выбора структуры регулятора, применяемого при условиях координатного управления.

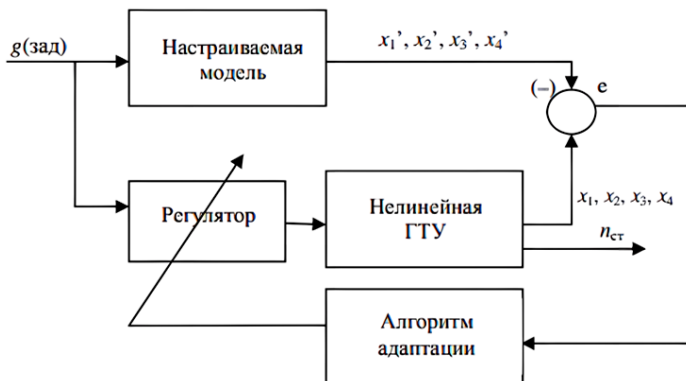


Рис. 2. Модуль параметрического адаптивного управления

**Применение алгоритмов нечеткой логики.** Алгоритмы нечеткой логики [5] используются для повышения качества работы САУ. Благодаря нечеткой логике системы управления могут адаптироваться к непостоянным условиям работы и учитывать ошибки при выборе решения задачи. Нечеткие регуляторы (рис. 3), используемые в системах управления различных двигателей, осуществляют точную регулировку работы машин при изменяющихся параметрах, таких как давление и температура.



Рис. 3. Модуль управления с нечеткой логикой

Таким образом, применение нечеткой логики улучшает проектирование систем управления, а также исключает проблемы в условиях неопределенности.

**Применение нейронной сети.** На данный момент нейронные сети используются для решения большого круга задач [6, 7]. В адаптивных системах управления они используются для управления техническими системами.



Благодаря нейронным сетям появляется возможность улучшения точности и скорости работы системы (рис. 4). Для дальнейшего применения нейронных сетей в адаптивных системах управления они должны пройти этап обучения. Обучение заключается в настройке параметров и выполнении определённых задач на основе предоставленных данных.

Параметры были получены благодаря математической модели ГТУ и электроэнергетической системы, так как отсутствует доступ к реальной установке.

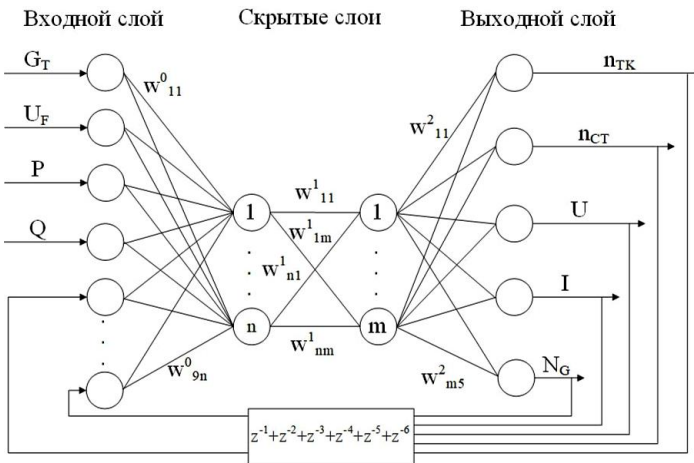


Рис. 4. Структура нейронной сети

В настоящее время разрабатываются новые перспективные методы адаптации систем управления ГТУ, позволяющие повысить качество работы и стабильность системы. С целью ускорения внедрения интеллектуальных систем в настоящие и дальнейшего развития их потенциала необходимо оценить опыт, полученный при проектировании САУ газотурбинной установки. Отталкиваясь от вышеперечисленного, было принято решение усовершенствовать систему управления САУ ГТУ.

### Библиографический список

1. Зиятдинов И.Р., Кавалеров Б.В., Крылова И.А. Исследование адаптивного алгоритма управления с газотурбинными установками учетом динамики синхронного генератора // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 6–2. – С. 235–240.

2. Кавалеров Б.В., Бахирев И.В. Построение упрощенной модели ГТУ с учетом основных физических принципов преобразования энергии // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: материалы VIII Всерос. науч.-техн. интернет-конф. (с междунар. участ.). – Пермь Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – С. 142–153.

3. Зиятдинов И.Р., Кавалеров Б.В. Исследование системы управления с эталонной моделью и параметрической настройкой для электроэнергетической газотурбинной установки // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–6. – С. 1107–1111.

4. Зиятдинов И.Р., Кавалеров Б.В., Бахирев И.В. Исследование системы управления с эталонной моделью и сигнальной настройкой для электроэнергетической газотурбинной установки // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6–2. – С. 235–240.

5. Методические основы аналитического конструирования регуляторов нечеткого управления / В.М. Лохин, И.М. Макаров, С.В. Манько, М.П. Романов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2000. – № 1. – С. 56–69.

6. Дружи А.А. Применение сверточных нейронных сетей для выделения и распознавания автомобильных номерных знаков на изображениях со сложным фоном // Известия Томск. политехн. ун-та. – 2014. – Т. 324, № 5.

7. Роберт К. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. – М.: Вильямс. – 2014. – 287 с.

### Сведения об авторах

**Белов Илья Анатольевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-20-1Б, г. Пермь, e-mail: gb.ilya@mail.ru

**Зиятдинов Илья Рудольфович** – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: i.ziyatdinoff@mail.ru

**Д.А. Щербинин<sup>1</sup>, М.В. Обухова<sup>2</sup>, Г.А. Килин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>ОДК-Авиадвигатель, Пермь

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО РЕВЕРСИВНОГО УСТРОЙСТВА**

Рассмотрен анализ применения перспективного электроприводного реверсивного устройства в системе обратной тяги, которая служит для изменения направления потока выхлопных газов и увеличения тормозного эффекта. Представлена классификация и обзор существующих систем. В рамках развития концепции более электрического самолета и электрифицированного авиационного двигателя предложено использование электроприводной системы.

**Ключевые слова:** реверсивное устройство, электропривод реверсивного устройства, гидравлическое реверсивное устройство, блок управления реверсивным устройством, регулятор двигателя.

**D.A. Scherbinin<sup>1</sup>, M.V. Obukhova<sup>2</sup>, G.A. Kilin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>ODK-Aviadvigatel, Perm

## **REVIEW OF ELECTRIC DRIVE REVERSING DEVICE**

The article analyzes the application of a promising electric-driven reversing device in the reverse thrust system, which serves to change the direction of the exhaust gas flow and increase the braking effect. As part of the development of the concept of a more electric airplane and electrified aircraft engine, the use of an electrically conductive system has been proposed.

**Keywords:** reversing device, electric drive reversing device, hydraulic reversing device, reversing device control unit, engine regulator.

Развитие структуры более электрического самолета и электрифицированного авиационного двигателя предусматривает замену гидравлических систем на электрические аналоги, которые удовлетворяют требованиям к повышению энергоэффективности, надежности, снижению влияния на экологическую чистоту, снижению шума, уменьшению массогабаритных показателей устройств и систем. Данные требо-

вания являются определяющими в выборе направления развития авиационной промышленности.

В настоящее время современные воздушные суда имеют значительные посадочные массы и большие посадочные скорости. Для торможения самолёта используют различные устройства: тормозная система колес шасси, аэродинамическая система торможения (интерцепторы, аэродинамические тормоза), парашютно-тормозная система, реверс тяги.

Для выполнения эффективного (уменьшения длины тормозного пути) торможения самолета тормозные системы должны работать в комплексе. Каждой из них предназначается выполнение функции снижения скорости самолета на взлётно-посадочной полосе.

Одним из результативных устройств для торможения является реверсивное устройство (РУ) двигателя [1, 2].

**Сведения о РУ.** Реверсивное устройства авиадвигателя используется в следующих случаях: при посадке, при выполнении обратных манёвров на земле и реализации прерванного взлёта. Важно отметить, что РУ не используются во время полёта и предназначены для обеспечения эффективного торможения для своевременной остановки самолета на земле. Реверсивные устройства используются на самолётах для создания обратной тяги и сокращения пути торможения, также являются важной частью систем безопасности. Они позволяют изменить направление потока выхлопных газов от двигателя в противоположную сторону полёта самолёта, что приводит к созданию обратной тяги.

Одним из главных компонентов РУ является перекрывающее устройство, которое при активации перенаправляет поток выхлопных газов. Это создает обратную тягу, которая помогает самолету замедлиться и остановиться более эффективно.

Реверсивные устройства могут быть различных типов, но наиболее распространены гидравлические и механические системы. Гидравлические системы используют гидравлическую энергию для управления перекрывающим устройством реверса двигателя, создавая обратную тягу. Механические системы, с другой стороны, используют механические механизмы для изменения угла наклона лопастей, створок, ковшей или решеток для создания обратной тяги [1].

Реверсивные устройства активируются пилотом с помощью рычага или кнопки для торможения. Разработка и совершенствование реверсивных устройств продолжаются, и вектор развития РУ стремится

к более эффективной и надёжной работе, а также снижению шума при использовании обратной тяги. Надёжная работа РУ и снижение шума позволяют сделать процесс посадки и торможения более безопасным и комфортными для пассажиров и экипажа [3].

#### **Гидравлическое реверсивное устройство и его недостатки.**

Ниже рассмотрен один из принципов реверсирования на примере авиационного двигателя (АД) ПС-90А. На рис. 1 показана схема ГРУ решетчатого типа, который находится в наружном контуре до среза сопла [1].

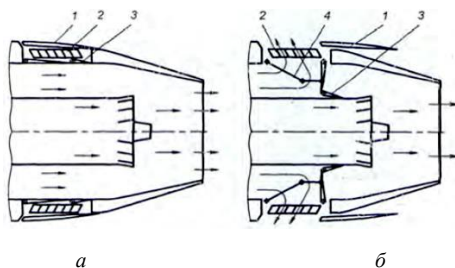


Рис. 1. Расположения реверсивных устройств:  
*a* – прямая тяга; *б* – обратная тяга

В положении прямой тяги решетки 2 закрыты снаружи подвижным обтекателем 1, а в проточной части наружного контура – створками 3.

В положении обратной тяги подвижной обтекатель 1 сдвигается, открывая решетки, а створки 3 поднимаются на тягах и качалках 4 и перекрывают канал наружного контура, тем самым воздушный поток направляется в сторону решеток 2, расположенных по окружности.

Основные компоненты гидравлического реверсивного устройства (ГРУ), который применяется на таких авиационных двигателях, как ПС-90А, Д-30КУ, Sam146, перечислены ниже:

- гидравлический насос;
- гидравлический цилиндр;
- гидравлический клапан;
- гидравлический аккумулятор;
- гидравлическая жидкость.

Кроме основных компонентов, ГРУ может также включать датчики, клапаны безопасности, фильтры и др.

ГРУ имеет следующие недостатки:

- потери энергии;
- ограниченный диапазон передаточных чисел;
- сложность системы;
- высокие затраты на обслуживание;
- высокий уровень шума;
- ограниченные возможности контроля;
- токсичные жидкости.

Несмотря на все недостатки, ГРУ остаются самыми распространенными системами, зарекомендовавшими себя на рынке [1, 3].

### **Переход к электроприводу реверсивного устройства (ЭРУ)**

Переход от ГРУ к электроприводу имеет несколько преимуществ:

- точность;
- более широкий диапазон передаточных чисел;
- меньший уровень шума;
- удобство обслуживания;
- массогабаритный параметр;
- чистота и экологичность.

Таким образом, переход к электрическому приводу реверсивного устройства повышает эффективность, гибкость и надежность системы. Однако следует учитывать тщательную оценку стоимости и преимуществ перехода [4–6].

ЭРУ состоит из механизмов перемещения РУ (МПРУ), блока управления РУ (БУРУ) и электрических жгутов, которые связывают МПРУ и БУРУ между собой.

**Описание и принцип действия МПРУ с БУРУ.** Механизм перемещения РУ(МПРУ) представляет собой электромеханизм реверсивного поступательного движения, состоящего из штока, приводимого в движение от электродвигателя посредством пары роliko-винтовой или шарико-винтовой передачи [6, 7], преобразующей вращательное движение в поступательное. МПРУ предназначен:

- для сдвига подвижного обтекателя и элементов подвижной части РУ из положения «Прямая тяга» («ПТ») двигателя в положение «Обратная тяга» («ОТ») двигателя и обратно;
- задержания подвижного обтекателя и элементов подвижной части РУ в положениях «ПТ» и «ОТ» во время работы двигателя.

Внешний вид МПРУ приведён на рис. 2.

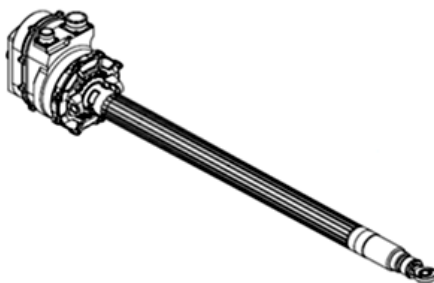


Рис. 2. Внешний вид электромеханизма реверсивного устройства

Наименование основных частей МПРУ:

- синхронный двигатель с постоянными магнитами;
- вал выходной, включающий роliko-винтовую передачу;
- электромагнитный тормоз;
- узел датчиков положения вала;
- платы датчиков положения.

Блок управления РУ (БУРУ) представляет собой набор электронных компонентов, помещенных в корпус, в котором расположены разъемы для соединения БУРУ с МПРУ, с каналами регулятора двигателя (РД) и блоком регистрации, с бортовой сетью воздушного судна (линии электропитания постоянным током номинальным напряжением +28В, линии электропитания переменным током номинальным напряжением 115/200В) [7, 8].

БУРУ содержит микроконтроллеры и программное обеспечение – программный комплекс. Внешний вид БУРУ приведен на рис. 3.

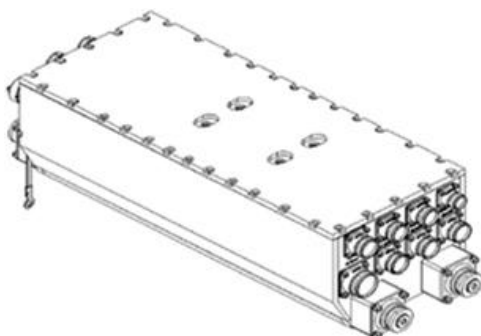


Рис. 3. Внешний вид БУРУ перспективного двигателя

БУРУ выполняет следующие функции:

- прием сигналов на перекладку из положения «ПТ» в положение «ОТ» и обратно, формируемых РД;
- обеспечение синхронного перемещения штоков МПРУ из положения «Прямая тяга» в положение «Обратная тяга» и обратно при поступлении сигналов на перекладку, формируемых РД;
- обеспечение удержания штоков МПРУ от самопроизвольного перемещения при отсутствии сигналов на перекладку, формируемых РД;
- формирование и передача в РД сигналов в кодовом виде по стандарту ARINC-429 о состоянии и работе ЭРУ.

**Заключение.** Рассмотрены существующие системы механического реверса тяги и ГРУ с недостатками, но ни одна из описанных систем не подходит для концепции «более электрического» самолета и электрифицированного авиационного двигателя. Поэтому для решения данной задачи в настоящее время ведутся испытания и доводки на разработанном ЭРУ, который включает в себя механизм перемещения реверсивного устройства и блока управления для него. Проектируемый ЭРУ позволит повысить безопасность полёта, уменьшить тормозной путь, сэкономить ресурсы тормозных систем и улучшить маневренность самолёта.

В целом ЭРУ является важным элементом в обеспечении безопасности и эффективности самолётов. ЭРУ позволяет оперативно и безопасно снижать скорость самолёта и останавливать самолёт на коротких взлетно-посадочных полосах.

Таким образом, рассмотренные в статье устройства ЭРУ играют важную роль в строении авиационного двигателя, так как имеют уменьшенные массогабаритные показатели, высокую точность и удобство в обслуживании. Также ЭРУ отвечает требованиям повышенной эффективности, надежности, экологической чистоты.

### Библиографический список

1. Авиационный двигатель ПС-90А / А.А. Иноземцев, Е.А. Коняев, В.В. Медведев, А.В. Нерадько, А.Е. Ряссов. – М.: Либра-К, 2007. – С. 99–137.
2. Концепция создания электрифицированного авиационного двигателя / Ф.Р. Исмагилов, В.Е. Вавилов, Р.Р. Уразбахтин, Р.С. Старков // Издание УГАТУ, 2020. – С. 7.



3. Ремонт реверсивных устройств: процесс и экономика // Издание Aircraft Commerce. – 2014. – Вып. 92. – С. 45–54.

4. Клименко Л.А. Общие вопросы по двигателям ЛА // Издание ЦИАМ. – 2019. – С. 2–8.

5. Автономная система электроснабжения системы автоматического управления авиадвигателя / А.И. Власов, Е.В. Волокитина, В.И. Ковязин, Н.В. Никитин // Электрика и электрооборудование транспорта. – 2015. – № 2. – С. 14–18.

6. Пермские авиационные двигатели / А.А. Иноземцев, С.А. Харин, А.В. Бусыгин, И.В. Максимов // Информационно-техническое издание ОДК-Авиадвигатель. – 2021. – № 48. – С. 57.

7. Электромагнит – элемент силового привода. Особенности разработки / Л.А. Рубцова, А.А. Малюгин, Н.А. Печёнкина, Р.В. Киселёв // Научно-технический семинар «Электропривод: теория, технология, практика и перспективы», Киров, 25 апреля 2018 г.: сб. тез. докл. – Киров: АО «Электропривод», 2018. – С. 117.

8. Волоткина Е.В., Тебеньков Ф.Г. Электропривод реверсивного устройства для перспективных двухконтурных турбореактивных авиационных двигателей // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2013. – № 3. – С. 30–33.

### **Сведения об авторах**

**Щербинин Денис Анатольевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ПИШ-23-8м, г. Пермь, e-mail: denis.2001.sh@mail.ru

**Обухова Мария Викторовна** – инженер электрических приводов авиационных газотурбинных двигателей ОДК-Авиадвигатель, г. Пермь, e-mail: obukhova-mv@avid.ru

**Килин Григорий Александрович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: thisisforasm@rambler.ru

**П.Г. Фрасын, Ю.С. Комбаров**

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва

**КОНЦЕПЦИЯ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ  
ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Исследуются принципы и преимущества клиент-серверной архитектуры в контексте создания инновационных систем диспетчеризации и мониторинга. Выделяются их роли и взаимодействие в рамках технологических процессов. Рассматриваются практические аспекты применения концепции клиент-сервера для эффективного контроля и управления параметрами системы. Статья представляет ценные научные и практические рекомендации для разработчиков и инженеров, стремящихся оптимизировать процессы диспетчеризации и мониторинга в современных технологических системах.

**Ключевые слова:** клиент, сервер, архитектура, диспетчеризация, мониторинг параметров, технологический процесс, системы управления, оптимизация процессов, инновации, взаимодействие компонентов, разработка систем, эффективность системы, FOSS, Linux, Windows, open-source.

**P.G. Frasyn, Yu.S. Kombarov**

Russian State University named after A.N. Kosyгина  
(Technology. Design. Art), Moscow

**CONCEPT OF CLIENT-SERVER ARCHITECTURE  
IN THE DEVELOPMENT OF A MODERN DISPATCHING  
AND MONITORING SYSTEM FOR TECHNOLOGICAL  
PROCESS PARAMETERS**

In this article, the principles and advantages of client-server architecture in the context of developing innovative dispatching and monitoring systems are explored. The authors discuss the fundamental components of this architecture, highlighting their roles and interactions within technological processes. Practical aspects of applying the client-server concept for effective control and management of system parameters are examined. The article provides valuable scientific and practical recommenda-

tions for developers and engineers seeking to optimize dispatching and monitoring processes in modern technological systems.

**Keywords:** client, server, architecture, dispatching, parameter monitoring, technological process, control systems, process optimization, innovations, component interaction, system development, system efficiency, FOSS, Linux, Windows, open-source.

Системы мониторинга и диспетчеризации представляют собой программно-аппаратный комплекс для контроля и управления параметрами технологического процесса на промышленном объекте.

Данные комплексы предназначены для объединения в единую инфраструктуру всех систем автоматизации для сбора данных и информационные метрик с промышленного оборудования, а также для управления исполнительными средствами автоматизации.

Автоматизированные системы мониторинга, контроля и диспетчеризации позволяют:

- минимизировать количество затрат за контролем параметров технологического процесса;
- своевременно выявлять неисправности оборудования;
- организовывать системы оповещения и доставки уведомлений об изменениях на промышленном объекте [1].

Наиболее распространенными решениями для организации систем диспетчеризации и мониторинга являются SCADA-системы. Их применение строго декларировано и стандартизировано. Они выполняют строгий вышеперечисленный набор задач.

Современные отечественные SCADA-системы обычно реализуют централизованный подход, где клиентом к развернутой системе диспетчеризации или SCADA-системе выступает то же самое устройство. Этот метод, однако, может привести к снижению отказоустойчивости системы, поскольку требования к надежности и эксплуатации диспетчерского компьютера обычно ниже, чем у серверов. В случае сбоя или неисправности операторского устройства может возникнуть риск потери контроля над системой, что подчеркивает важность реализации мер по обеспечению отказоустойчивости [2].

Эффективным решением для повышения отказоустойчивости и обеспечения более гибкой архитектуры является использование выделенного сервера для взаимодействия с промышленным оборудованием. Такой подход позволяет децентрализовать функции системы, распределяя нагрузку и уменьшая зависимость от одного центрального

узла. Кроме того, выделенный сервер может быть настроен с учетом специфических требований промышленных процессов, что способствует повышению эффективности и гибкости системы управления.

Среди зарубежных продуктов, имеющих клиент-серверную архитектуру, можно выделить только WinCC/OA и PCVue. Приблизенными к ним являются InTouch с псевдо-серверной архитектурой и кластерный Citect.

Данные решения имеют существенные ограничения для использования в нынешних реалиях. WinCC заточен только под автоматику компании Siemens (и не имеет поддержки базовых протоколов связи, к примеру modbus), а ввиду нераспространённости PCVue можно отметить малое количество специалистов и слабую техническую поддержку в РФ из-за отсутствия официального дистрибьютера.

В ряде программно-аппаратных решений реализована интеграция сервера визуализации и управления непосредственно на уровне программируемого логического контроллера (ПЛК). В таких сценариях вместе с основной рабочей программой на ПЛК активируется встроенный сервер, обеспечивающий функциональность визуализации. Этот сервер одновременно предоставляет доступ к визуализации для других устройств, действуя в качестве обслуживающего узла для тонких клиентов. Однако использование устройства в роли как программируемого логического контроллера, так и сервера агрегации и визуализации данных вносит значительные риски в технологический процесс. Такая двойная роль устройства может привести к конфликтам в распределении ресурсов. Перегрузка сервера, который одновременно выполняет функции ПЛК и обеспечивает визуализацию, может как снизить общую производительность системы, так и повлиять на стабильность технологического процесса [3].

Правильная организация системы диспетчеризации и мониторинга параметров технологического узла, основанная на клиент-серверной архитектуре, предполагает четкое разделение функциональных ролей и обеспечивает эффективное взаимодействие между компонентами системы. На серверной стороне следует размещать центр управления, который отвечает за сбор, хранение и анализ данных от наблюдаемых узлов. Этот сервер может также обеспечивать доступ к интерфейсу для администрирования системы.

Требуется использование мощной базы данных для хранения и структурирования данных о параметрах технологического узла. Это может быть реляционная или NoSQL база данных, в зависимости от объема данных и требований к их структуре.

На технологическом узле должен находиться мониторинговый агент, ответственный за сбор и передачу данных на сервер. Этот агент может регулировать частоту отправки данных в зависимости от текущей нагрузки и важности параметров.

Масштабируемость и отказоустойчивость – в систему закладываются возможности масштабирования при увеличении количества наблюдаемых узлов. Применение кластеризации узлов позволит повысить производительность и отказоустойчивость.

Проектирование и развертывание системы мониторинга с учетом вышеописанных принципов позволит эффективно отслеживать и управлять технологическими узлами, обеспечивая надежность, масштабируемость и безопасность работы системы.

Наиболее актуальным недостатком практически всех SCADA-систем (и прочего промышленного программного обеспечения) является ориентированность только на операционную систему Windows. Это создает несколько проблем и ограничений.

Многие SCADA-системы разрабатываются и оптимизируются под Windows, что ограничивает их использование в средах, где предпочтение отдается другим операционным системам, таким как Linux или macOS. В промышленных предприятиях может быть разнообразие ОС на различных уровнях инфраструктуры.

Использование Windows часто связано с необходимостью приобретения дорогостоящих лицензий, особенно в крупных системах с большим количеством рабочих мест. Это может значительно увеличить общую стоимость внедрения и обслуживания SCADA-системы.

Windows является мишенью для многих видов кибератак, и промышленные системы, работающие на этой операционной системе, могут стать объектом внимания злоумышленников. В силу своей популярности Windows более подвержен вирусам, троянам и другим видам вредоносного программного обеспечения.

Ориентация на Windows может привести к тому, что промышленные предприятия, стремящиеся к открытым стандартам и свободе вы-

бора в технологических решениях, будут ограничены в возможности интеграции SCADA-системы с другими платформами.

Windows не всегда обеспечивает полноценную поддержку real-time операций, что может быть критично для промышленных процессов, требующих мгновенного реагирования на изменения параметров.

Процессы обновления и перезагрузки системы на Windows могут привести к временным периодам недоступности, что в промышленных средах недопустимо. Это может существенно влиять на непрерывность работы производства.

Использование Linux и FOSS (Free and open-source software) в системах диспетчеризации и мониторинга позволяет достичь кроссплатформенности, которая является ключевым преимуществом в современных информационных технологиях. Такой подход к выбору технологий обеспечивает гибкость и масштабируемость в развертывании систем диспетчеризации и мониторинга, а также обеспечивает прозрачность в обмене данными между различными компонентами системы. Кроме того, использование FOSS способствует сокращению расходов на лицензирование и обеспечивает сообщество разработчиков, что может ускорить процесс разработки, обновлений и поддержки системы.

Гибкость архитектуры важна для адаптации системы к различным условиям и изменяющимся требованиям производства. Масштабируемость, в свою очередь, обеспечивает возможность эффективного расширения функционала и объема обрабатываемых данных по мере роста предприятия.

Ориентация на свободное программное обеспечение (FOSS) и решения с открытым исходным кодом (open source) позволяет построить устойчивую и эффективную систему, учитывая специфику производственных задач.

Однако полный переход на решения с открытым исходным кодом в коммерческом сегменте невозможен из-за ответственности за используемое программное обеспечение, которая ложится на того, кто разрешил его использование в продукте. Иными словами, фактически использование решений с открытым исходным кодом «как есть» снижает ответственность с разработчика, внедрившего их.

Технически эта проблема решается следующим образом: создается форк основной ветки (ответвление от основной ветки программы

с полным копированием ее содержания) с целью поддержки и внедрения собственных решений. Мейнтейнер, отвечающий за поддержку и развитие форка, берет на себя ответственность за интеграцию изменений, обновления и обеспечение стабильности созданной ветки. Это также позволяет разработчикам использовать и поддерживать программное обеспечение на своих условиях, сохраняя контроль над конкретной версией кодовой базы.

Создание форка позволяет сохранить структуру и историю основной ветки, предоставляя возможность внедрения собственных решений и поддержки продукта. Разработчики могут вносить изменения в форк, включая исправления, новые функции или адаптации к специфическим требованиям. Основным принцип заключается в том, что изменения в форке не затрагивают основную ветку, и наоборот. Таким образом, ответственность за программное обеспечение возлагается на мейнтейнера (а также подчиненную группу разработчиков) ветки.

Таким образом, совместное использование свободного программного обеспечения с открытым исходным кодом в области промышленной автоматики дополняется преимуществами клиент-серверной архитектуры. Этот подход обеспечивает распределенность и масштабируемость систем, позволяя выделить вычислительные и управляющие функции между клиентскими и серверными компонентами.

Преимущества такой архитектуры включают гибкость в масштабировании ресурсов, централизованный контроль, легкость обновлений и обеспечение эффективной обработки данных. В сочетании с FOSS это создает сбалансированное и эффективное решение для автоматизации в промышленности, где требуются надежность, гибкость и поддержка в условиях постоянной эволюции технологий и требований производства.

### **Библиографический список**

1. Лиманова Н.И., Селезнев И.А. Анализ эффективности клиент-серверной архитектуры // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 7. – С. 392–396.
2. Буторов В.В., Тынченко С.В., Царев Р.Ю. Оценка надежности клиент-серверных приложений корпоративной системы управления предприятием // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5. – С. 488–492.

3. Ларин А., Бодров К.Ю. Исследование методов проектирования и разработки клиент-серверных приложений // Сб. тр. X Конгресса молодых ученых. – СПб.: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2021. – С. 350–354.

#### **Сведения об авторах**

**Фрасын Павел Геннадьевич** – аспирант кафедры «Автоматика и промышленная электроника» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, e-mail: frasy.pashka@gmail.com

**Комбаров Юрий Сергеевич** – старший преподаватель кафедры «Автоматика и промышленная электроника» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва, e-mail: kombarov-yus@rguk.ru



**О.А. Рябинина, А.И. Болдырев, А.А. Болдырев, Д.Ю. Левин**

Воронежский государственный технический университет, Воронеж

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Исследуется применение технологии цифровых двойников станочного оборудования, полученных с использованием технологии трехмерного сканирования в процессе технологической подготовки производства на предприятиях машиностроительной отрасли.

**Ключевые слова:** цифровые двойники, трехмерное сканирование, станочное оборудование, технологическая подготовка производства, цифровой технологический процесс, средства технологического оснащения.

**O.A. Ryabinina, A.I. Boldyrev, A.A. Boldyrev, D.Yu. Levin**

Voronezh State Technical University, Voronezh

## **POSSIBILITIES OF USING DIGITAL TWINS OF MACHINING FACILITIES AT ENTERPRISES OF MECHANICAL INDUSTRY**

In this article we study the application of the technology of digital twins of the machine tool equipment, obtained using the technology of 3D scanning in the process of technological manufacturing preparation the enterprises of mechanical industry.

**Keywords:** digital twins, 3D scanning, machining facilities, digital manufacturing procedure, jigs, fixtures and tools.

В машиностроении средствам технологического оснащения отводится значительная роль. Они имеют большое значение в процессе автоматизации процессов производства и повышении качества производственных операций. В настоящее время для ускорения процессов проектирования на предприятия активно внедряются новые разработки. Примером может являться цифровая модель производства, основанная на создании цифровых двойников.

Целью подготовки производства является обеспечение эффективного, безопасного и качественного производственного процесса. Задача

подготовки производства состоит в том, чтобы обеспечить необходимые условия для функционирования производственного процесса [1].

Технологическая подготовка производства (ТПП) – совокупность мероприятий, обеспечивающих технологическую готовность производства: наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации и средств технологического оснащения, необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями [2].

Внедрение современных технологий позволяет улучшать показатели ТПП. Одним из примеров технологий, которые активно популяризируются в машиностроительной отрасли, – это цифровые двойники. Виртуальные или цифровые двойники для установок и физических объектов появились в начале XXI в.

Цифровой двойник (ЦД) представляет собой виртуальную копию физического мира, виртуальную модель реального объекта или ситуации, которая на микро- и макроуровне с помощью набора математических моделей описывает состояние объекта и всех его элементов.

Понятия цифрового двойника чаще всего используется в рамках целого предприятия. В ведущих западных компаниях ЦД используются повсеместно, тогда как в России эта технология еще только набирает популярность. Применять данную технологию имеет смысл практически во всех отраслях промышленности: в машиностроении, авиастроении, в сфере добычи и переработки ресурсов. Высокая стоимость промышленных установок четко показывает необходимость использования цифровых двойников (рисунок).



Рис. Варианты использования цифровых двойников

Понятие цифрового двойника чаще всего используется для виртуальной модели цеха или предприятия в целом. Данная технология дает возможность воспроизводить различные ситуации, которые могут возникать на производстве. Это позволяет подбирать наиболее адекватные сценарии проведения технологических процессов, чтобы избежать сбоев и аварийных ситуаций.

При этом следует понимать, что цифровой двойник – это лишь инструмент оптимизации работы специалистов, а не автоматическое решение проблем, возникающих на производстве. В зависимости от специфики работы предприятия и текущих приоритетов его развития функционал и интерфейс двойника может быть «заточен» под решение тех или иных задач. Он позволяет воссоздать инфраструктуру и логику операций предприятия в виртуальной реальности.

Однако для полной оцифровки работы цеха или предприятия в целом требуется следовать правилам декомпозиции и создавать виртуальный макет не только производства, но и его отдельных составляющих, таких как станочное оборудование. Полученные модели можно будет использовать в дальнейшем в автоматизированных системах управления предприятием, а также при грамотном проектировании планировок участков и производственных потоков в трехмерном пространстве, где двойник выступит в качестве 3D темплета оборудования для более оптимальной организации производственного процесса.

На данный момент использование цифровых двойников конкретного оборудования мало распространено в России. Чаще всего на отечественных предприятиях создают цифровые двойники цехов и производств в целом. Это связано с тем, что набирает обороты внедрение различных систем управления предприятиями, таких как ERP- и MES-системы, которые позволяют имитировать и проектировать процессы, происходящие на производстве.

Однако также существуют и системы, позволяющие имитировать процессы, происходящие в рамках одного рабочего места на установленном оборудовании. Это программно-аппаратные комплексы, предназначенные для обучения, в том числе самостоятельного, навыкам работы на станках производства, оснащенных системами ЧПУ.

Такие системы могут использовать цифровой двойник для создания и симуляции программ ЧПУ на компьютере. Являясь полным виртуальным прототипом реального станка, он позволяет не только обу-

чать работе с системами ЧПУ, но и, не тратя станочного времени, отлаживать ранее разработанные программы обработки, исключая с его помощью возможные столкновения узлов станка, устраняя дефекты и неточности программ, оптимизируя режимы работы. Таким образом, они позволят организовать испытательный стенд по наладке и контролю производства в полностью удаленном режиме.

Создание цифровых двойников станочного оборудования для оптимизации управления станками с ЧПУ – это один из вариантов использования данной технологии на производстве. Точность обработки заготовок сильно зависит от корректности ввода данных и управления инструментом. ПО создаёт виртуальную копию станка с помощью полной интеграции САМ и ЧПУ станка. Тогда программирование производится автономно с доступом в режиме реального времени ко всем настройкам оборудования.

При отсутствии прямой интеграции с ЧПУ и цифрового двойника САМ-система получает только лишь общие данные об оборудовании и ПО, не может использоваться по-настоящему эффективно. Если же использовать виртуальную модель станочного оборудования, то тогда ввод данных вручную и другое вмешательство оператора становятся вполне безопасными и не повлияют на работу оборудования.

Цифровые двойники оборудования представляют собой мощный инструмент для оптимизации производственных процессов. Еще один из вариантов их применения на машиностроительных предприятиях – разработка цифровых технологических процессов (ЦТП). В рамках ЦТП за счет использования технологии цифровых двойников имеется возможность визуализировать организационно-технологические процессы, производить их обработку и тестирование, создавать цифровые фабрики, производить 3D моделирование, симуляцию и оптимизацию производственно-логистических процессов, выполнять удалённое программирование автоматизированного оборудования с ЧПУ и роботов.

Применение цифровых двойников станочного оборудования на этапе ТПП также возможно при проектировании средств технологического оснащения (СТО), в частности оснастки. Чаще всего проблемы на данном этапе технологической подготовки производства возникают в связи с тем, что при автоматизированном проектировании станочных приспособлений (СП) в большинстве случаев не учитывается боль-

шинство из характеристик станка и прочих СТО, которые уже были задействованы в технологическом процессе. Чаще всего конструктор по проектированию оснастки имеет базовый набор параметров, которыми он руководствуется при создании СП: габариты рабочей зоны станка и присоединительные размеры мест крепления (например, Т-образные пазы на рабочем столе) [3]. Дальнейшие изменения в конструкцию приспособления вносятся уже по месту, либо установка проходит несколько стадий доработки, что занимает определенное количество времени.

Решить большую часть из выявленных выше проблем позволит работа с более подробной входной информацией. Здесь предлагается использование цифрового двойника станочного оборудования и проектирование приспособления в контексте имеющейся сборки. Получение цифрового двойника позволит учесть все факторы, которые могут повлиять на конструкцию оснастки и сократит время на ее доработку по месту. При этом цифровая модель оборудования не обязательно должна быть полной, достаточно той части, где будет применяться оснастка. Чаще всего это рабочая область и другие СТО, которые могут влиять на размещение проектируемого приспособления.

Цифровые двойники станочного оборудования обладают высоким потенциалом и могут быть применены в процессе подготовки производства как инженерами-конструкторами для проектирования средств технологического оснащения, так и технологами при создании планировок участков, использоваться для отработки управляющих программ для станков с ЧПУ, а также интегрированы в ERP- и MES-системы.

### **Библиографический список**

1. Анализ проблем, возникающих при автоматизированном проектировании станочных приспособлений / О.А. Рябина, А.И. Болдырев, А.А. Болдырев, Д.Ю. Левин // Вестник Тульского государственного университета. Автоматизация: проблемы, идеи, решения: сб. научных трудов Национальной науч.-техн. конф. с международным участием: АПИР-28, 2023. – С. 176–180.

2. ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – М., 1983.

3. Болдырев А.И., Болдырев А.А. Организационно-технологическая подготовка производства: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые и граф. данные (5,3 Мб). – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2014.

### **Сведения об авторах**

**Рябинина Ольга Алексеевна** – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: ryabinina\_olya@mail.ru

**Болдырев Александр Иванович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: alexboldyrev@yandex.ru

**Болдырев Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: alexboldyrev@yandex.ru

**Левин Дмитрий Юрьевич** – старший преподаватель кафедры «Графика, конструирование и информационные технологии в промышленном дизайне» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: levin\_du@cst-eg.ru

**Д.С. Редькин, Д.Ю. Левин, О.А. Рябинина**

Воронежский государственный технический университет, Воронеж

## **ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕТЬЕЙ КООРДИНАТЫ В ЛАЗЕРНО-ГРАВИРОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ**

Исследуются проблемы автоматизации регулировки высоты обработки заготовки с помощью лазерно-гравировальных станков, имеющих только две координаты в своей конструкции. Рассмотрены решения, позволяющие решить возникающие проблемы и проведен их анализ.

**Ключевые слова:** лазерно-гравировальные станки, лазерные технологии, полупроводниковый лазер.

**D.S. Redkin, D.Yu. Levin, O.A. Ryabinina**

Voronezh State Technical University, Voronezh

## **PROBLEMS OF USING THE THIRD COORDINATE IN LASER ENGRAVING MACHINES**

This article investigates the problems of automating workpiece machining height adjustment using the laser engraving machines that have only two coordinates in their design. Solutions to solve the problems that arise are considered and analyzed.

**Keywords:** laser engraving machines, laser technology, injection laser.

Применение лазерных технологий в машиностроении – прогрессивное направление, позволяющее создавать более совершенные конструкции машин и передовые технологии их изготовления.

Принцип работы лазерной гравировки основан на использовании высокоэнергетического лазерного луча для испарения материала из поверхности объекта. Лазерный луч создается путем возбуждения газа или кристалла и направляется на поверхность объекта, который должен быть гравирован. При взаимодействии лазерного луча с поверхностью объекта, энергия лазера преобразуется в тепло, которое нагревает и испаряет материал с поверхности объекта [1]. В последние годы произошел рост интереса к лазерной гравировке поверхностей, что в основном связано с понижением цен на компоненты и платформы для создания собственных рабочих станций и развитием технологии. Общая схема лазерной технологической установки представлена на рис. 1.

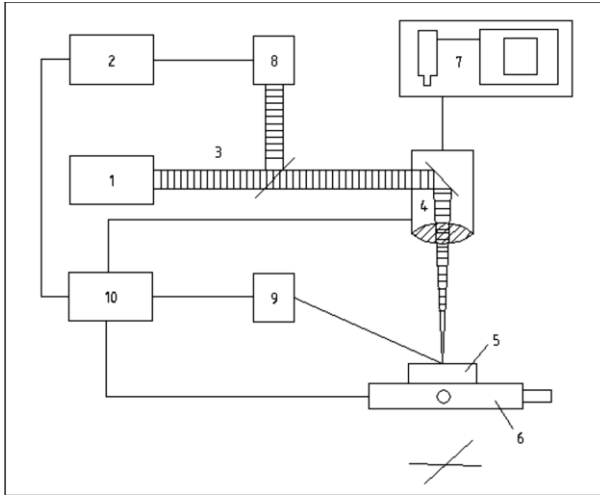


Рис. 1. Схема полупроводникового лазера

На текущий момент существует несколько видов лазерных гравиров, которые могут использоваться для обработки. В зависимости от их конструкции и технических характеристик они могут работать с металлами, пластиками, керамикой, стеклом, тканью и другими материалами.

Рынок лазерных установок обширен как для коммерческого, так и для домашнего и полукommerческого использования. В данной статье будет сделан упор на анализ установок второй категории, где наиболее распространенным типом лазерных гравиров являются  $\text{CO}_2$ -лазеры, которые используют газовый лазерный источник для создания инфракрасного лазерного излучения. Они обычно используются для обработки неметаллических материалов, таких как дерево, акрил, кожа, бумага, карбоновые материалы и многое другое [2].

Схема полупроводникового лазера представлена на рис. 1, где 1 – лазерный излучатель; 2 – блок питания лазера; 3 – пучок лазерного излучения; 4 – фокусирующая оптическая система; 5 – обрабатываемая деталь; 6 – координатный стол; 7 – система визуального контроля зоны лазерной обработки; 8 – система контроля параметров лазера; 9 – система контроля технологического процесса; 10 – микропроцессор.

Главное отличие коммерческих установок от бытовых (помимо высокой стоимости) заключается в способности работать в условиях повы-



шенной температуры или при очень высокой влажности на протяжении большого количества времени со стабильной мощностью. Также функциональность промышленных лазеров намного выше, некоторые модели отличаются наличием корпуса с защитным экраном, вентиляцией, охлаждающей установкой, наличием модуля с автофокусом или возможностью контролировать положение предмета обработки по вертикальной оси. В отличие от домашних лазерных станков они используются для резки, сверления, полировки и других технологических операций.

Использование настольных установок некоммерческого назначения чаще всего происходит для обработки объектов различного назначения. В связи с этим поверхности для обработки могут иметь различную форму, однако большинство конструкций лазерных гравировщиков имеют ограничения в виде позиционирования только в рамках двух координат. В таких условиях обработка поверхностей сложных форм становится затруднительной. Третья координата присутствует у некоторых экземпляров либо в очень ограниченных пределах, либо в возможности ее позиционирования только в начале работы устройства. Также некоторые производители для своих установок создают дополнительные конструкции, которые позволяют обрабатывать поверхности цилиндрической формы. Полная третья координата присутствует у станков универсального назначения, например, фрезерных настольных установок, где шпиндель заменяется на лазерный модуль. Но чаще всего такие станки используются для постобработки уже созданных изделий.



Рис. 2. Результат эксперимента с автофокусировкой лазера

Работа с автофокусировкой также не решит проблему с обработкой сложных поверхностей, так как становится невозможно выдержать перпендикулярность луча лазера. Результат эксперимента с автофокусировкой лазера представлен на рис. 2.

В бытовых условиях проблема регулировки высоты лазера происходит либо с помощью специальных ножек, на которых устанавливается конструкция самого лазера, либо с помощью подручных средств, что представлено на рис. 3.



Рис. 3. Регулирование высоты лазера при помощи подручных средств

Однако подобные решения не позволяют четко запозиционировать третью координату, что может привести к неровным и нечетким контурам лазерной обработки. Кроме того, этот способ не подразумевает какую-либо автоматизацию.

Для создания автоматизированной регулировки высоты обработки можно сформулировать требования к конструкции, которая возьмет на себя роль третьей оси:

- подставка должна жестко фиксировать лазерный станок;
- должен быть учтен механизм перемещения заготовки для гравировки по вертикальной оси;
- подставка должна крепиться к конструкции лазера;
- подставка должна иметь возможность быть легко модернизирована под другие типы лазерных станков.

Также для автоматизации работы третьей координаты требуется использовать плату управления, работающую, например на системе Arduino. Также возможна полуавтоматизированная система работы с механическим типом регулирования высоты.

На размер и конструкцию подставки влияют несколько факторов, а именно: габариты лазерного станка и его допустимой область гравировки и размеры предполагаемых заготовок.

Создание конструкций, позволяющих позиционировать лазеры по третьей координате, дают возможность автоматизированной обработки поверхностей сложных форм в некоммерческих условиях, что расширяют рынок потребителей подобных установок.

### **Библиографический список**

1. Казанский Н.Л., Мордасов В.И., Мурзин С.П. Формирование энергетических потоков при проведении лазерной и комбинированной обработки материалов. – Самара: Институт систем обработки изображений РАН, Самарский государственный аэрокосмический университет, 2003. – Вып. 25. – С. 120–125.

2. Светцов В.И. Оптическая и квантовая электроника: учеб. пособие / Иван. гос. хим.-техн. ун-т. – Иваново, 2004. – 47 с.

### **Сведения об авторах**

**Редькин Денис Сергеевич** – бакалавр кафедры «Графика, конструирование и информационные технологии в промышленном дизайне» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: denis707r@mail.ru

**Левин Дмитрий Юрьевич** – старший преподаватель кафедры «Графика, конструирование и информационные технологии в промышленном дизайне» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: levin\_du@cst-eg.ru

**Рябинина Ольга Алексеевна** – ассистент кафедры «Графика, конструирование и информационные технологии в промышленном дизайне» Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, e-mail: ryabinina\_olya@mail.ru

**А.А. Самотья, Р.Ю. Юдин, Ю.К. Титов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПИТАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Статья посвящена созданию системы управления синхронным двигателем с постоянными магнитами для управления шестеренчатым топливным насосом. В исследовании рассмотрено математическое описание синхронного двигателя с постоянными магнитами векторного управления. Разработана имитационная бездатчиковая модель системы управления. Проведен анализ выбора типа двигателя для малоразмерного газотурбинного двигателя.

**Ключевые слова:** синхронный двигатель с постоянными магнитами, насос, газотурбинный двигатель, малоразмерный газотурбинный двигатель, векторная система управления.

**A.A. Samotya, R.Yu. Yudin, Yu.K. Titov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **SIMULATION MODEL OF AN ELECTRIC DRIVE FOR AN INNOVATIVE FUEL SUPPLY SYSTEM OF A SMALL-SIZED GAS TURBINE ENGINE**

The article is devoted to the creation of a synchronous motor control system with permanent magnets for controlling a gear fuel pump. The mathematical description of a synchronous motor with permanent magnets of vector control is considered in the study. A sensor-free simulation model of the control system has been developed. The analysis of the choice of engine type for a small-sized gas turbine engine is carried out.

**Keywords:** synchronous motor with permanent magnets, pump, gas turbine engine, gas turbine engine, vector control system.

На сегодняшний день в авиационном двигателестроении актуальной задачей является создание «более электрических» ГТД [1], гибридных силовых установок с ГТД и полностью электрических двига-

телей самолетов, обеспечивающих нулевой выброс вредных веществ в атмосферу в процессе своей работы.

В данной работе рассматривается новый подход к системе топливопитания малоразмерного газотурбинного двигателя МГТД, путём непосредственного дозирования топлива за счет изменения частоты вращения насоса, посредством создания модели системы управления электроприводом. Непосредственное дозирование топлива позволяет уменьшить вес и габариты дозирующего устройства за счет исключения следующих элементов: дозирующий кран, клапан постоянного перепада давления на дозирующем сечении, термокомпенсатор. Также позволяет снизить потребляемую насосом мощность в силу отсутствия перепуска топлива клапаном постоянного перепада давления и соответственно увеличить КПД силовой установки в целом.

Для инновационной системы топливопитания, в первую очередь необходимо иметь понимание о векторной системе управления, ведь вся суть и основная реализация идеи осуществляется именно посредством векторного управления. Векторное управление в сравнении с скалярного, позволяет взаимодействовать не только с магнитным полем статора, но и с магнитным полем ротора. Векторное управление оптимизирует момент вращения, что так необходимо при потребляемой мощности топливного насоса. Поэтому в данной работе рассматривается имитационная модель для дальнейшего применения на агрегате.

В проведенном исследовании использовался в качестве объекта управления, то есть неявнополюсный синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ). Был выбран бездатчиковый метод управления с наблюдателем, характеристики двигателя представлены ниже. Бездатчиковый метод управления поможет избавиться от механического датчика, увеличит надежность и уменьшит стоимость системы.

#### **Характеристики двигателя**

Число пар полюсов/фаз – 2/3

Напряжения питания – 36 В

Номинальная скорость – 3000 об/мин

Номинальный крутящий момент – 2,2 кг·см

Мощность – 92 Вт

Максимальный крутящий момент – 7 кг·см

Максимальный ток – 11,5 А

Сопротивление между линиями – 0,54 Ом

Индуктивность между линиями – 2,2 мГн  
 ЭДС обратной связи – 6,6 В/1000 об/мин  
 Момент инерции ротора – 119 г·см<sup>2</sup>  
 Коэффициент демпфирования – 0,0001

**Математическая модель СДПМ.** Основой модели электрической части СДПМ является использование уравнения равновесия статора СДПМ. Неявнополюсный ротор синхронного двигателя, за счет своей конструкции, имеет одинаковые индуктивности статора по осям  $d$  и  $q$ . Во вращающейся системе координат  $dq$  уравнения равновесия статора имеют следующий вид:

$$\begin{cases} U_{sd} = \frac{d\Psi_{sd}}{dt} + R_s I_{sd} - \omega \Psi_{sq} \\ U_{sq} = \frac{d\Psi_{sq}}{dt} + R_s I_{sq} + \omega \Psi_{sd} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $U_s$  – напряжение статора;  $I_s$  – ток статора;  $R_s$  – активное сопротивление статора;  $\Psi_s$  – потокосцепление статора.

Так как  $L_{sd} = L_{sq} = L_s$ , выражение для момента двигателя упрощается и запишется в виде (2):

$$M = \frac{3z_p}{2} I_{sq} \Psi_f, \quad (2)$$

где  $z_p$  – число пар полюсов;  $\Psi_f$  – потокосцепление, создаваемое ротором двигателя, то есть постоянными магнитами.

Момент, вызывающий потокосцепление ротора, является постоянным, но момент зависит только от  $q$ -компоненты. Влияние  $d$ -компоненты тока статора на работу СДПМ отрицательно, так как она увеличивает потери в двигателе и влияет на поток. Поэтому, чтобы учесть эти эффекты,  $d$ -компонента задается равной нулю. Для описания механической части СДПМ используются крутящие моменты, действующие на вал.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{z_p \cdot \Psi_f \cdot I_{sq}}{J} - \frac{M_c}{J} - \frac{\omega \cdot F}{J}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – механическая угловая скорость вращения ротора,  $M_c$  – момент сопротивления,  $J$  – момент инерции,  $F$  – коэффициент демпфирования.

Если учесть, что  $\Psi_{Sq} = L_{Sq}I_{Sq}$  и  $\Psi_{Sd} = L_{Sd}I_{Sd} + \Psi_f$ , тогда уравнения равновесия статора (1) примут следующий вид:

$$\begin{cases} U_{Sd} = L_{Sd} \frac{dI_{Sd}}{dt} + R_S I_{Sd} - \omega L_{Sq} I_{Sq} \\ U_{Sq} = L_{Sq} \frac{dI_{Sq}}{dt} + R_S I_{Sq} + \omega L_{Sd} I_{Sd} + \omega \Psi_f \end{cases}, \quad (4)$$

где  $L_s$  – индуктивность статора, при этом  $L_{Sq} = L_{Sd}$ .

В данном исследовании анализируется использование электропривода при работе с небольшими отклонениями координат. В качестве переменной, которой управляют, была выбрана скорость вращения вала электропривода, обозначаемая как –  $\omega$ . Соответственно, математическая модель системы с электроприводом будет иметь следующий вид [2–5]:

$$\begin{cases} \frac{d\phi}{dt} = \omega, \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{\frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \Psi_r \cdot I_q}{J} - \frac{M_c}{J} - \frac{\omega \cdot C}{J}, \\ \frac{dI_q}{dt} = \frac{U_q \cdot R_s \cdot I_q - \omega \cdot \Psi_r}{L_{Sq}}, \end{cases}, \quad (5)$$

где  $Z_p$  – количество пар полюсов,  $R_s$  – сопротивление статора,  $L_{Sq}$  – индуктивность статора,  $\Psi_r$  – потокосцепление ротора (является постоянной величиной, так как двигатель реализован с использованием постоянных магнитов),  $J$  – момент инерции ротора,  $C$  – коэффициент демпфирования.

На рис. 1 представлена структурная схема, соответствующая математическому описанию синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Необходимо проверить правильность предложенной модели в MatLab. Для этого собираем схему двигателя из передаточных функций как представлено на рис. 2.

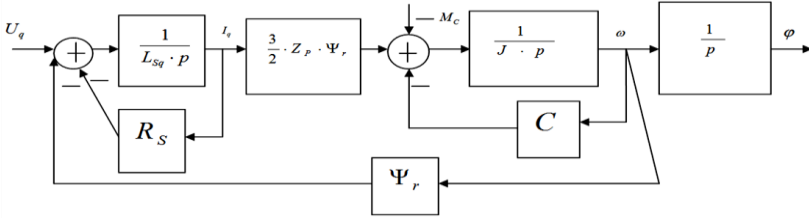


Рис. 1. Структурная схема синхронного двигателя с постоянными магнитами

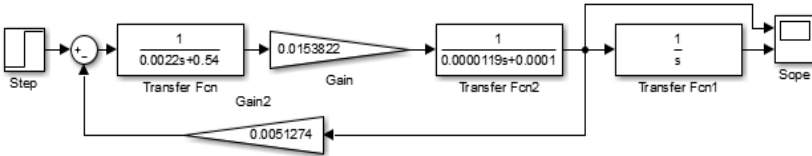


Рис. 2. Реализация упрощенной функциональной схемы двигателя в среде Simulink

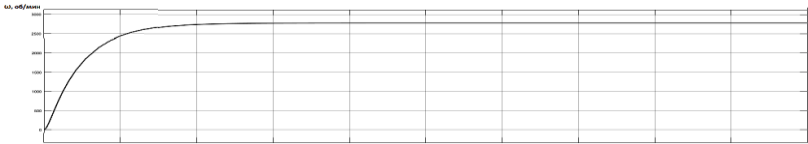


Рис. 3. График изменения скорости

По графикам, изображенным на рис. 3, можно сделать вывод, что модель двигателя разработана правильно. После этого можно приступить к реализации модели векторной системы управления двигателем.

**Модель системы управления и синтез.** Для управления системы синхронного двигателя с постоянными магнитами была выбрана векторная система управления (рис. 4).

Такое решение было принято из-за возможности потерять контроль над двигателем при использовании скалярного управления, особенно при низких оборотах, из-за нарушения синхронизма между магнитным полем ротора и статора. В данном исследовании анализируются режимы работы СДПМ с малым отклонением координат, что частично предполагает использование машины при низких оборотах.

Поскольку бесколлекторный электромотор не оснащен датчиками положения ротора, то для определения положения ротора, а также для определения частоты вращения используется метод детектирования



начала/конца полупериода наведенной ЭДС в холостой обмотке статора. Поскольку обмотки статора электромотора соединены «звездой» без доступа к средней точке, то применяется схема с виртуальной средней точкой и ноль-компараторами.

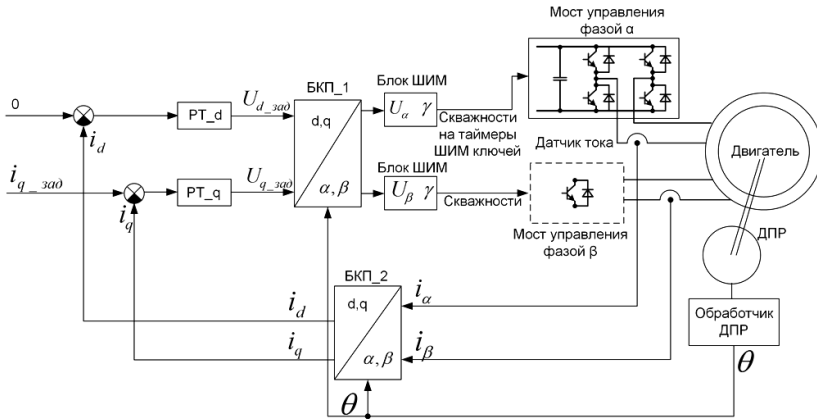


Рис. 4. Структурная схема векторной системы управления СДПМ

**Заключение.** Опираясь на поставленные задачи и проблематику, в результате проделанной работы были решены вопросы выбора типа двигателя и системы его управления. Также основополагающей задачей стояло разработка устройства для управления электропривода, для него было просчитано математическое обеспечение и в дальнейшей работе планируется добиться необходимой характеристики подачи топлива от насоса в созданной имитационной модели устройства управления силовым электроприводом для МГТД. Используя метод наблюдателя, работающий на скользящих режимах, было реализовано бездатчиковое управление синхронным двигателем с постоянными магнитами. Полученная система управления может заменить методы определения положения ротора, которые основываются на измерении противо-ЭДС в свободной фазе двигателя.

### Библиографический список

1. Cristian Busca. Open loop low speed control for PMSM in high dynamic application. – Aalborg, Denmark: Aalborg universitet, 2010.

2. Гуревич О.С., Гулиенко А.И. Системы газотурбинного двигателя для «электрического» самолета // Климовские чтения – 2017. Перспективные направления развития авиадвигателестроения: сб. ст. (Санкт-Петербург, 20 октября 2017). – СПб.: Скифия-принт, 2017. – С. 214–223.

3. Белкин Ю.С., Гулиенко А.И., Гуревич О.С. Системы автоматического управления авиационными ГТД: Энциклопедический справочник. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. – 208 с.

4. Анучин А. С. Системы управления электроприводов: учебник. – М.: Изд. дом МЭИ, 2015. – 320 с.

5. Pacas M. Sensorless drives in industrial applications // IEEE Industrial Electronics Magazine. – 2011. – Vol. 5, no. 2. – P. 16–23.

### Сведения об авторах

**Самотья Александра Аркадьевна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ПИШ-23-7м, г. Пермь, e-mail: samotyasasha@gmail.com

**Юдин Ростислав Юрьевич** – ассистент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: RJuJudin@pstu.ru

**Титов Юрий Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: titov-uk@ao-star.ru

**П.В. Иванов, И.А. Шмидт**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА ОБУЧЕНИЕМ С УЧИТЕЛЕМ**

Рассматривается проблема синтеза регуляторов для многосложных объектов управления с большим количеством нелинейностей. В качестве альтернативы классическим регуляторам предлагается использование нейросетевого ПИД-регулятора, обучаемого с учителем. Для моделирования переходного процесса объекта управления использовался программный пакет LabView, а для работы с нейросетью – язык программирования Java и библиотека Deeplearning4j. Было проведено несколько тестирований с различными конфигурациями сети, и была выявлена оптимальная конфигурация. Полученные результаты показали, что нейросеть не уступает классическому ПИД-регулятору в управлении линейными объектами.

**Ключевые слова:** ПИД-регулятор, нейросеть, объект управления, регулирование, обучение с учителем.

**P.V. Ivanov, I.A. Shmidt**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **IMPLEMENTATION OF A NEURAL NETWORK PID CONTROLLER WITH SUPERVISED LEARNING**

The article discusses the problem of synthesizing controllers for complex control objects with a large number of nonlinearities. As an alternative to classical controllers, a neural network PID-controller trained with a supervised learning approach is proposed. The LabView software package was used to model the transient process of the control object, and the Deeplearning4j library in the Java was used to work with the neural network. Several tests were conducted with different network configurations, and an optimal configuration was identified. The results showed that the neural network is not inferior to the classical PID-controller in controlling linear objects.

**Keywords:** PID-controller, neural network, control object, control, supervised learning.

Сложность современных объектов управления и их моделей с годами увеличивается, как увеличивается и сложность синтеза регуляторов для них, ввиду наличия большого количества нелинейностей [1].

Чаще всего в подобных объектах постоянные времени являются функциями от выходной величины, что приводит к необходимости синтеза нескольких регуляторов и переключению их между собой в зависимости от значения регулируемой величины. Зачастую коэффициенты таких регуляторов подбираются эмпирически в ходе многих исследований. В некоторых случаях синтез классических (ПИ, ПИД) регуляторов может быть просто невозможен ввиду колоссальной сложности объекта, наличия перекрёстных связей, нелинейностей и малой изученности самого объекта [2].

Для улучшения качества регулирования могут применяться нейросети в виде дополнительного корректирующего звена [3]. Возможным решением вышеописанных проблем при синтезе регуляторов для многосложных объектов является отказ от классических методов управления. Таким образом, в данной статье предлагается реализация нейросетевого ПИД-регулятора обучением с учителем.

**Объект управления.** Объектом управления является система 3-го порядка. Передаточная функция представлена в формуле

$$W_0 = \frac{6,591}{0,0147p^3 + 0,287p^2 + 1,05p + 1}. \quad (1)$$

Синтезированный ПИД-регулятор на симметричный оптимум с ручной подстройкой представлен в формуле

$$W_{\text{рег}} = 0,168 + \frac{0,25}{p} + 0,025p. \quad (2)$$

**Используемый стек технологий.** Для моделирования переходного процесса объекта управления использовался программный пакет LabView с библиотекой Control Design and Simulation. Для работы с нейросетью были выбраны язык программирования Java и одна из самых популярных библиотек Deeplearning4j. Моделирование переходного процесса с нейрорегулятором осуществлялось в связке приложений на LabView и на Java с помощью протокола UDP. Также для более гибкой работы с различными конфигурациями нейрорегулятора был написан сервис конфигурирования нейросетей, их обучения и запуска процесса моделирования по протоколу UDP. Стэк технологий сервиса: maven, spring boot 3.1, postgresql.

**Результаты моделирования.** Было проведено несколько тестирований с различными конфигурациями сети. Наиболее оптимальной с точки зрения затрат времени на обучение и с лучшим быстродействием выявлена конфигурация нейронной сети с двумя скрытыми слоями, в каждом слое по 10 нейронов, алгоритмом оптимизации Adam с коэффициентом скорости обучения 0,01, функцией активации  $TANH(x)$  для каждого слоя [4]. Сеть имеет 10 входов – 10 последних значений ошибки по регулированию и один выход – выход регулятора.

На рис. 1, 2 представлены графики переходных процессов и выходы регуляторов соответственно.



Рис. 1. Графики переходных процессов



Рис. 2. Графики выхода регулятора

Таким образом, можно увидеть, что нейросеть не уступает в регулировании ПИД-регулятору. Для графика переходного процесса регулируемой величины разница в пределах погрешности, среднеквадра-

тичная ошибка составляет 1,42 у.е. (~0,79% от максимального значения регулируемой величины). В графике переходного процесса выхода регулятора наблюдается небольшая колебательность, среднеквадратичная ошибка составляет 0,95 у.е.

**Заключение.** Таким образом, был реализован нейросетевой ПИД-регулятор, в качестве управления не уступающий классическому, реализованному с помощью динамических звеньев.

Полученные результаты и опыт будут необходимы для следующего этапа исследования – нейросетевого регулятора нелинейных систем, с обучением с подкреплением.

### **Библиографический список**

1. Феофилов Д.С. Сравнительный анализ качества процессов управления для нейросетевых и классических регуляторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 11. – С. 68–72.

2. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284 с.

3. Шмидт И.А., Нарбеков Р.Р., Иванов П.В. Алгоритмы нечеткого управления для системы имитации термогазодинамических параметров на испытательном стенде // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2021. – Т. 1. – С. 193–196.

4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс.: пер. с англ. – 2-е изд., испр.– М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

### **Сведения об авторах**

**Иванов Павел Вадимович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-22-1м, г. Пермь, e-mail: ivanov@pavel-vad.ru

**Шмидт Игорь Альбертович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shmidt-ia@yandex.ru

**А.В. Графкин<sup>1</sup>, Д.И. Понамаренко<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Самарский университет, Самара

<sup>2</sup>Самарский государственный университет  
путей сообщения, Самара

## **РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БАЗОВОГО МОДУЛЯ МАСШТАБИРУЕМОЙ РОБОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОТОКОЛОВ СВЯЗИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

Разработана аппаратная часть прототипа базового модуля масштабируемой роботехнической системы моделирования сложных поверхностей для динамических испытаний. Приведены настройки CubeIDE для программирования микроконтроллера STM32. Получены результаты разработки программного обеспечения для управления данного прототипа, а именно написана библиотека управления шестью сервоприводами под управлением драйвера. Рассмотрены проблемы, которые могут возникнуть при вышеописанных разработках будущими разработчиками, получены варианты решения данных проблем. Описаны подробные структурные особенности данного прототипа, приведен код управления сервопривода, рассмотрены шаги по дальнейшей разработке итоговой роботехнической системы моделирования сложных поверхностей для динамических испытаний.

**Ключевые слова:** Python, CubeIDE, платформа Стюарта, микроконтроллер, STM32.

**A.V. Grafkin, D.I. Ponomarenko**

Samara State University of Railway Engineering, Samara

## **DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A SCALABLE BASIC MODULE A ROBOTIC SYSTEM FOR MODELING COMPLEX SURFACES FOR DYNAMIC TESTING WHEN USING VARIOUS COMMUNICATION PROTOCOLS FOR DATA TRANSMISSION**

The hardware part of the prototype of the basic module of a scalable robotic system for modeling complex surfaces for dynamic tests has been developed. The CubeIDE settings for programming the STM32 microcontroller are given. The results of the software development for the control of this prototype have been obtained, namely, a library for controlling 6 servos under driver control has been written. The

problems that may arise during the above-described developments by future developers are considered, and solutions to these problems are obtained. Detailed design features of this prototype are described, the servo control code is given, and steps for further development of the final robotic system for modeling complex surfaces for dynamic tests are considered.

**Keywords:** Python, CubelIDE, Stewart platform, microcontroller, STM32.

С развитием техники современные системы становятся сложнее и процесс тестирования данных систем занимает большее время и требует больших ресурсов. Узлы данных систем подвержены динамическим воздействиям, приложенным в различных плоскостях, и для тестирования таких систем необходимо использовать стенды, обеспечивающие максимально приближенные нагрузки на испытуемые прототипы. Например, для тестирования нового вида подвесок используется стенд СПП-2500, представляющий собой горизонтальную платформу, с амплитудой колебаний 6 мм. Авторами было предложено создать масштабируемую роботехническую систему моделирования сложных поверхностей для динамических испытаний, которая состоит из платформ Стюарта.

Платформой Стюарта является манипулятор на основе механизмов параллельной структуры. Перемещение платформы относительно основания достигается благодаря синхронному и согласованному изменению длин опор\*.

Управление данной системой может происходить как через блок USART, так и через сетевой модуль, что позволяет подключаться к WEB-конструктору с любого устройства, имеющего выход в сеть.

В обоих случаях авторами разработан графический интерфейс на языке Python. WEB-конструктор проектируется с учётом возможности построения динамической системы, позволяющей моделировать сложные поверхности, которые формируются с помощью множества Stewart-платформ. Параметр каждой платформы (базового модуля системы) можно задать через конфигуратор соответствующего устройства.

Количество устройств может меняться динамически, конфигурация динамической системы задается в конструкторе.

---

\* Графкин А.В., Понамаренко Д.И., Мыльников Е.Н. Базовый модуль масштабируемой роботехнической системы моделирования сложных поверхностей для динамических испытаний с web-конструктором // Вестник молодых ученых и специалистов Самарского университета. – 2022. – № 2 (21). – С. 69–77.



Проектируемая ролевая система роботов состоит из Stewart-платформ и может использоваться как испытательный стенд. web-конструктор с распределённой системой SaaS позволяет в режиме онлайн изменять систему (менять количество, расположение и характеристики), для моделирования сложных поверхностей под конкретную задачу с помощью конфигулятора.

Конструктор отвечает за хранение, загрузку и выгрузку законов движения – закон, по которому будет изменяться положение в пространстве базового модуля. Каждый базовый модуль изменяет своё положение согласно заданному закону движения.

Авторы в на основании математической модели написали программное обеспечение, позволяющее управлять базовым модулем.

Помимо этого, была определена техническая составляющая реального прототипа базового модуля со следующими характеристиками:

- сервопривод TOWERPRO SG90 9G;
- драйвер 16-канальный ШИМ/Серво (PCA9685), 12-разрядный ШИМ;
- отладочная плата STM32F103C8T6 на базе STM32, ARM® 32-bit Cortex®-M3;
- ST-Link V2 металлический корпус программатор STM8 STM32.

Авторами данной статьи была поставлена задача настроить и запрограммировать прототип базового модуля, рассмотреть различные способы передачи данных между компьютером и микроконтроллером, включающим в себя использование графического приложения, а также WEB-конструктора.

**Настройка драйвера.** В связи с тем что сервопривода подключаем к драйверу PCA9685, который имеет внутренний генератор на 25 МГц и является 12-битным, то и counter\_period составляет 4096. Тогда, с учетом этих изменений и данных prescaler = 120. Далее высчитываются минимальное и максимальное значения сигнала ШИМ для сервоприводов. Так как сервопривод работает на частоте 50 Гц (20 мс), а крайние положения 0,5–2,5 мс, то и servo\_min = 102, а servo\_max = 512. В связи с тем, что не рекомендуется доводить вал сервопривода до крайних положений и, согласно матрице углов [1], максимальный угол составляет 60 градусов, тогда servo\_min = 110, а servo\_max = 500.

Для работы данного модуля также необходимо написать библиотеку управления PWM-сигналом, в которой и прописываются данные значения. Весь код библиотеки не приводится в данной статье.

**Подключение к STM32. Настройка среды разработки.** Для программирования отладочной платы на базе микроконтроллера STM32F103C8T6 использовалась среда разработки STM32CubeIDE 1.14.0. Перед написанием программного кода для микроконтроллера проведена настройка проекта. Настроен RCC. Во всплывающем меню выбран Crystal/Ceramic Resonator для High Speed Clock (HSE). Настроен PWM (ШИМ), для работы с ШИМ в STM32 используются таймеры (timers). Устанавливается Internal Clock в Clock Source. Выбираем Channel1 из встроенных таймеров, выбираем PWM Generation CH1, и смотрится, к какой ножке он подключен. В данном случае таймер TIM2 канал CH1 подключен к ножке PA0. Определили, на какие выводы выходят SCL и SDA, и соединили через эти каналы плату bluepill с драйвером (PB7 и PB8).

**Разработка управления через USART.** Блок USART (универсальный синхронно-асинхронный приёмопередатчик) используется для организации обмена информацией по последовательным интерфейсам, протоколы которых соответствуют формату кадра USART (RS-232) или содержат его в качестве базового элемента (RS-422, интерфейсы на основе RS-485, некоторые профили Profibus и др.).

После подключения драйвера к микроконтроллеру и написания следующего фрагмента кода

```

while (1) {
    CDC_Transmit_FS((uint8_t *) data, strlen(data));
    HAL_Delay(1000);
    if (buffer[0]=='1'){
        for (int i=0;i<4;i++) {
            PCA9685_SetServoAngle(0,      postSerX-
plus30[i]);
            PCA9685_SetServoAngle(1,      postSerX-
plus30 [i+7]);
            PCA9685_SetServoAngle(2,      postSerX-
plus30 [i+14]);
            PCA9685_SetServoAngle(3,      postSerX-
plus30 [i+21]);
            PCA9685_SetServoAngle(4,      postSerX-
plus30 [i+28]);
            PCA9685_SetServoAngle(5,      postSerX-
plus30 [i+35]);
            HAL_Delay(1000);
        }
    }
}

```



Это необходимо из-за того, что мы использовали демонстрационные законы движения, где жестко контролировали шаг движения и диапазон смещений по осям и углам поворота.

Использовать COM-порт, через который напрямую подаются необходимые данные, и контролировать выполнение при помощи графического интерфейса, написанного на языке Python (рис. 2). Также на данном языке написан графический интерфейс, позволяющий, не используя сторонние программы, открывать COM-порт и передавать данные для управления прототипом.

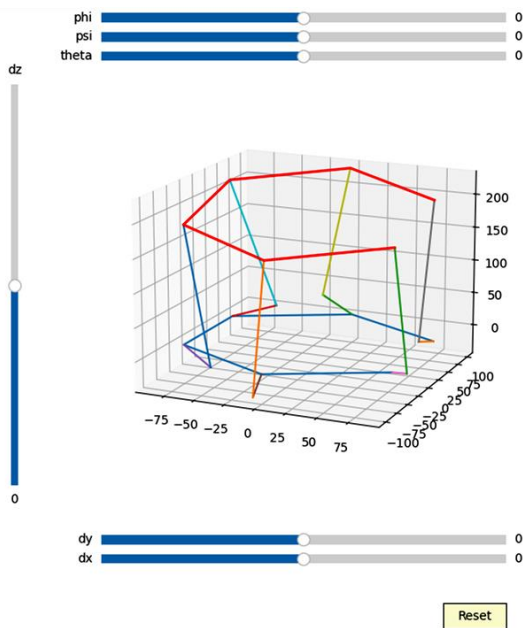


Рис. 2. Графический интерфейс

**Разработка управления через Wiznet 5500.** Для реализации работы web-интерфейса необходимо к прототипу подключить и настроить в CubeIDE сетевой модуль Wiznet 5500. Работу данного модуля демонстрируют логические уровни OSI, представленные на рис. 3.

Принцип настройки в следующем: подключаем сетевой модуль к отладочной плате; настраиваем библиотеку; верстаем веб-страницу, через которую будем подавать сигнал на базовый модуль.

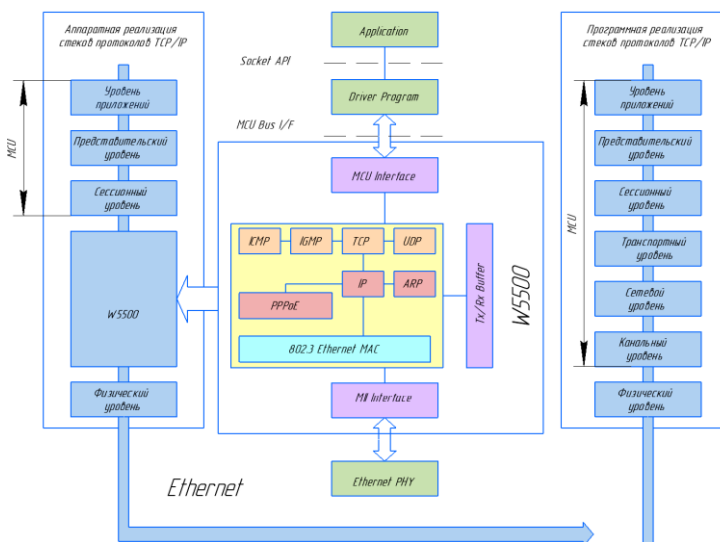


Рис. 3. Логические уровни OSI

**Заключение.** Таким образом, на основании построенной ранее математической модели получены следующие результаты:

- а) собран работающий прототип базового модуля масштабируемой роботехнической системы моделирования сложных поверхностей для проведения динамических испытаний;
- б) написан код управления базовым модулем, что подразумевает дальнейшую разработку системы моделирования сложных поверхностей для динамических испытаний;
- в) написан код на языке Python для графического отображения, а также для реализации передачи данных на прототип посредством TCP.

### Сведения об авторах

**Графкин Алексей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность информационных систем» Самарского университета, г. Самара, e-mail: lvg\_alex@mail.ru

**Понамаренко Денис Иванович** – старший преподаватель кафедры «Механика и инженерная графика» Самарского государственного университета путей сообщения, г. Самара; студент Самарского университета, г. Самара, e-mail: d.ponamarenko@samgups.ru

**А.Д. Дыкий, И.А. Крылова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Описана модель системы векторного управления общепромышленным асинхронным двигателем, уготованного для длительного режима работы вальцового механизма.

**Ключевые слова:** асинхронный привод, частотное векторное управление, контур регулирования, компенсация перекрестных связей.

**A.D. Dykiy, I.A. Krylova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **MATHEMATICAL MODEL OF A FREQUENCY- CONTROLLED ASYNCHRONOUS DRIVE**

The article describes a model of vector control system for a general-purpose asynchronous motor, intended for long-term operation of a rolling mechanism.

**Keywords:** asynchronous drive, frequency vector control, regulation loop, cross-coupling compensation.

Процесс автоматического регулирования технических характеристик в производственных процедурах является важнейшим аспектом, обеспечивающим достижение наилучших результатов и устойчивость процессов. Автоматика системы позволяет улучшить свойства выпускаемой продукции, увеличить количество производимых изделий, уменьшить количество брака и повысить экономическую составляющую. Вальцовые механизмы требуют определенной настройки скорости вращения в зависимости от проходящего через валки материала.

Управление методом саморегулирующей системы в связке с частотно-управляемым АД определяется той нагрузкой, которая приложена на вал двигателя и нужными моментами. При помощи следующей системы уравнений находятся все остальные параметры для расчета потоков машины:

$$\begin{cases} \vec{\Psi}_m = L_m \vec{I}_m = L_m \vec{I}_s + L_m \vec{I}_R, \\ \vec{\Psi}_s = L_s \vec{I}_s + L_m \vec{I}_R, \\ \vec{\Psi}_R = L_m \vec{I}_s + L_R \vec{I}_R. \end{cases} \quad (1)$$

Данные зависимости получены по диаграмме векторов асинхронного двигателя (АД) на рис. 1, которая изображает определенную связь между векторами состояния асинхронного двигателя. В установившемся режиме данные состояния остаются постоянными, а в режиме динамики скорость, амплитуда и фазовые сдвиги векторов меняются между ними.

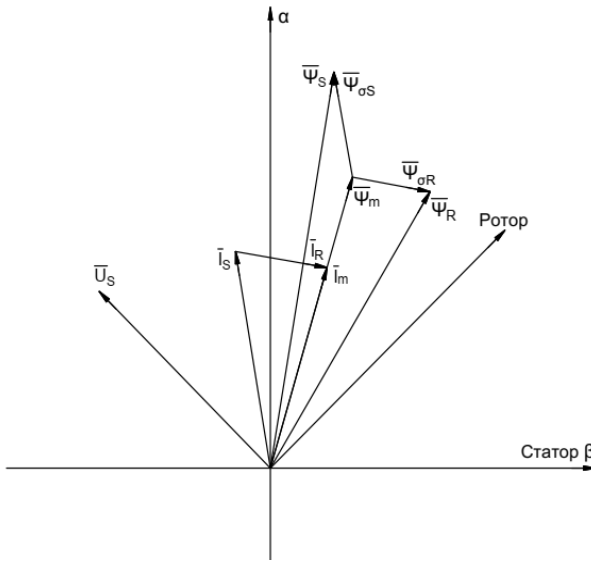


Рис. 1. Векторная диаграмма асинхронного двигателя

Представлена система авторегулирования электропривода, которая была разработана из условия обширного использования номинальной мощности двигателя с короткозамкнутым ротором и частотного преобразователя [1].

Для построения модели АД использовались уравнения (2). Для того чтобы описать электромагнитные процессы в данном двигателе, была реализована система координат  $d, q$  [2]:





Контуры тока по осям  $d$  и  $q$  изображены на рис. 3, которые представляют собой внутреннюю часть в канале регулирования.

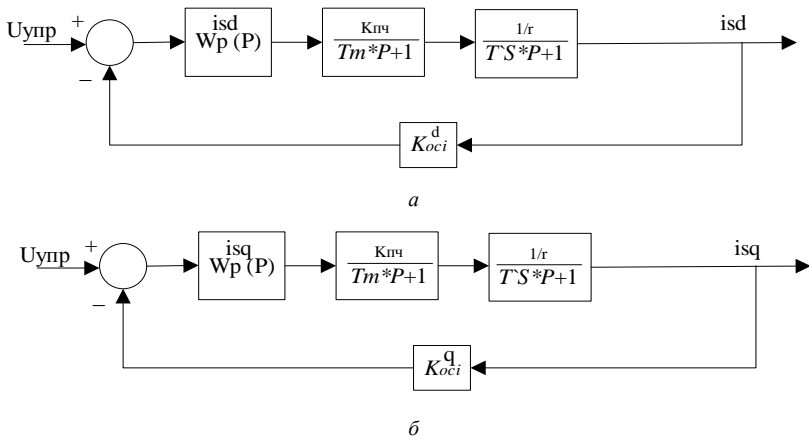


Рис. 3. Контуры управления:  $a$  – тока статора по оси  $d$ ,  $б$  –тока статора по оси  $q$

Передаточные функции для регуляторов контура тока в осях статора  $d$  и  $q$  при их настройке на модульный оптимум (МО), имеют следующий вид:

$$W_p^{isq}(P) = \frac{T'_S P + 1}{2T\mu p \left( K_{Пч} \cdot \frac{1}{R_S} \cdot K_{ocis}^q \right)}, \quad (3)$$

На рис. 4 показаны внешние контуры в канале регулирования по оси  $q$  и  $d$ , которые являются контурами регулирования скорости и потокосцепления соответственно.

Контур регулирования скорости имеет две настройки, первая настройка – это модульный оптимум (МО), вторая является симметричный оптимум (СО). Выбор настройки зависит от требований, которые предъявляют к статизму система авторегулирования в отношении к возмущающему воздействию. Регулятор скорости и его передаточные функции имеют вид

$$W_p^0(P) = \frac{J \cdot K_{ocis}^q}{2T\mu \cdot 3Z_P \cdot K_R \cdot K_{OC}^0}, \quad (4)$$

$$W_p^{\omega}(P) = \frac{[4(2T\mu)p + 1] \cdot J \cdot K_{ocis}^q}{4(2T\mu)^2 p \cdot 3Z_P \cdot K_R \cdot K_{OC}^{\omega}} \quad (5)$$

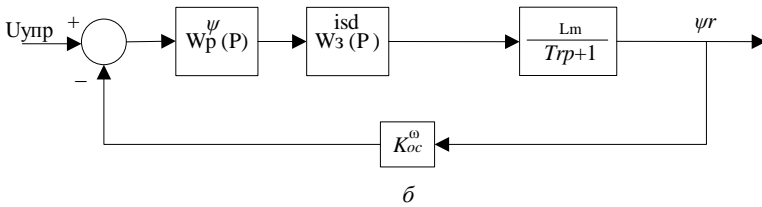
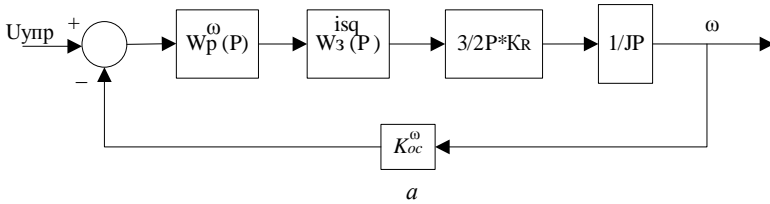


Рис. 4. Контуры управления: а – скорости, б – потокосцепления

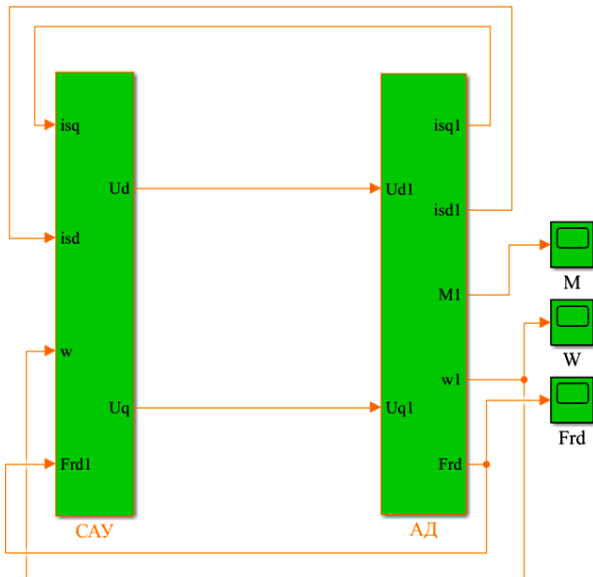


Рис. 5. Модель системы управления АД

При настройке регулятора потокосцепления контура потокосцепления на модульный оптимум его передаточная функция имеет вид:

$$W_p^\psi(P) = \frac{K_{ocis}^q (T_R + 1/p)}{2(2T\mu)p \cdot L_m \cdot K_{OC}^\psi}. \quad (6)$$

На рис. 5 изображена модель системы автоматического управления.

При создании регулируемой системы электропривода необходимо учитывать внутренние перекрестные связи. Данное явление образует нелинейность объекта управления [1].

На рис. 6 представлен блок компенсации перекрёстных связей (БКПС), данный блок осуществляет регулировку тока статора по осям  $d$  и  $q$ , его основа состоит из следующих формул:

$$U_{Sd} = -\omega_e I_{Sd} \left( L_{\sigma S} + \frac{L_m L_{\sigma R}}{L_m + L_{\sigma R}} \right), \quad (7)$$

$$U_{Kq} = \omega_e I_{Sd} (L_m + L_{\sigma S}), \quad (8)$$

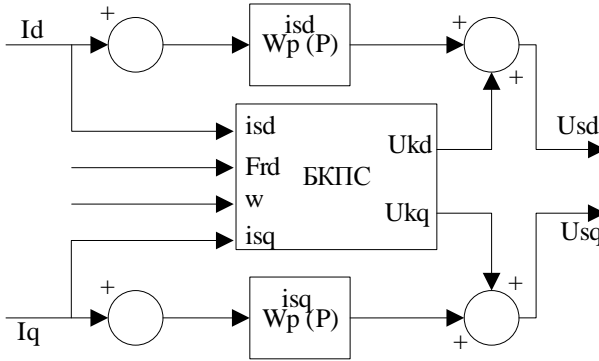


Рис. 6. Блок компенсации перекрёстных связей

На рис. 7 и 8 отображены результаты моделирования. Моделирование системы автоматического управления соответствует теоретическим данным, потокосцепление находится на номинальном значении во всем спектре при изменении на валу нагрузки и регулировании скорости во всех проведенных опытах.

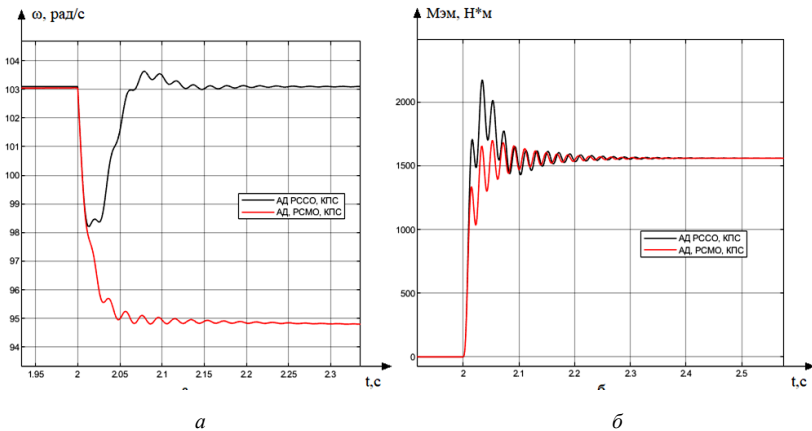


Рис. 7. Результаты моделирования: *а* – угловая скорость, *б* – электромагнитный момент

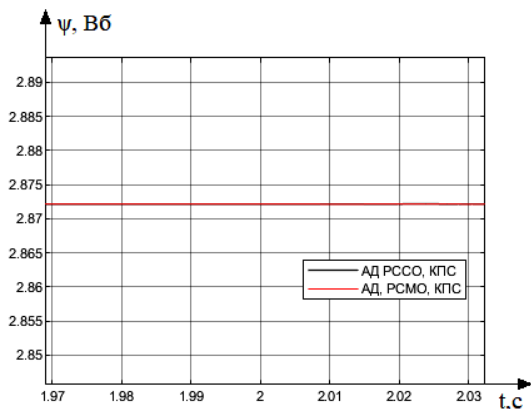


Рис. 8. График потокосцепления

Благодаря сформированной модели удалось сравнить влияние различных настроек регуляторов. На рис. 7 видно, что настройка регулятора скорости на СО устраняет статическую ошибку при регулировании. Также на графиках заметно, что блок компенсации перекрестных связей сокращает время переходного процесса в скорости.

В конечном итоге полученная модель является весьма плодотворной для дальнейшего изучения поведения асинхронного электродвигателя.

теля в паре с частотным преобразованием, так и для анализа совместной работы электрического привода с вальцовым механизмом для нахождения безошибочных параметров их работы.

### **Библиографический список**

1. Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика) [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.privod-news.ru/docs/Vector\\_Kalachev.pdf](http://www.privod-news.ru/docs/Vector_Kalachev.pdf). (дата обращения: 20.12.2023).

2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: учеб. пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001.

### **Сведения об авторах**

**Дыкий Антон Дмитриевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭМ-20-1б, г. Пермь, e-mail: [oda.tar.02@mail.ru](mailto:oda.tar.02@mail.ru)

**Крылова Ирина Андреевна** – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [iakrylova@asu-engineering.com](mailto:iakrylova@asu-engineering.com)

**М.В. Афанасьев, Л.Р. Уразбахтина**

Казанский государственный энергетический  
университет, Казань

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Принятие решений происходит постоянно в любой компании, и совершенствование этого процесса способно значительно улучшить показатели ее деятельности. В статье исследуется процесс автоматизации принятия решений внутри предприятия. Описаны ключевые возможности внедрения и проанализированы основные проблемы автоматизации. В статье даны рекомендации по эффективному улучшению процесса принятия решений.

**Ключевые слова:** методология, принятие решений, планирование, инновации, автоматизация, эффективность.

**M.V. Afanasyev, L.R. Urazbakhtina**

Kazan State Energy University, Kazan

## **AUTOMATION OF THE DECISION MAKING PROCESS IN THE ENTERPRISE'S ACTIVITIES**

Decision making occurs constantly in any company, and improving this process can significantly improve its performance. The article examines the process of automating decision making within an enterprise. Key implementation opportunities are described and the main automation problems are analyzed. The article provides recommendations for effectively improving the decision-making process.

**Keywords:** methodology, decision making, planning, innovation, automation, efficiency.

В любом развивающемся предприятии постоянно стремятся повысить операционную эффективность и адаптируемость. Одной из важных тенденций развития является автоматизация процессов принятия решений. Используя такие технологии, как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО), организации могут рационализировать и оптимизировать свои возможности принятия решений.

Основными положительными сторонами автоматизации процесса принятия решений являются:

– повышение эффективности и скорости. Автоматизация принятия решений снижает зависимость от ручных процессов, позволяя ускорить и повысить эффективность циклов принятия решений. Используя алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения, большие объемы данных могут обрабатываться в режиме реального времени, что позволяет принимать своевременные и обоснованные решения. Это ускоряет процессы на предприятии от обслуживания клиентов до управления цепочками поставок, что приводит к повышению производительности и удовлетворенности клиентов [1]. Внедряя системы чат-ботов, компании могут автоматизировать процессы принятия решений для обработки запросов клиентов и предоставления мгновенных ответов. Эта автоматизация может привести к значительному сокращению времени отклика, повышению удовлетворенности клиентов на 30 % и снижению затрат на поддержку клиентов на 40 % [2];

– уменьшение систематической ошибки и повышение точности решений. Принятие решений человеком подвержено когнитивным искажениям, которые могут повлиять на качество и справедливость решений. Автоматизация помогает смягчить эти предубеждения, полагаясь на алгоритмы, которые объективно анализируют данные и принимают решения на основе заранее определенных правил и критериев. Это снижает риск принятия предвзятых решений, что приводит к повышению точности и объективности различных бизнес-операций;

– оптимизация распределения ресурсов. Эффективное распределение ресурсов имеет решающее значение для оптимизации деятельности организаций [3]. Автоматизация принятия решений позволяет предприятиям анализировать исторические данные, прогнозировать спрос и более точно распределять ресурсы. Это гарантирует оптимальное распределение ресурсов, включая финансы, персонал и инвентарь, сокращая потери и повышая прибыльность;

– обеспечение принятия решений на основе полномасштабных данных. Сегодня предприятия имеют доступ к огромным объемам данных, но извлечение ценной информации может оказаться сложной задачей. Автоматизация позволяет организациям использовать возможности данных, применяя алгоритмы искусственного интеллекта и машинного обучения для выявления закономерностей, тенденций и выявления скрытых корреляций. Такой подход, основанный на данных, позволяет принимать обоснованные решения, что приводит к улучшению бизнес-результатов и появлению конкурентных преимуществ [3].

Хотя автоматизация принятия решений предлагает множество преимуществ, она также создает проблемы, которые необходимо решить. Для защиты конфиденциальной информации необходимо тщательно решать вопросы безопасности и конфиденциальности данных. Кроме того, организации должны обеспечить прозрачность и объяснимость автоматизированных решений для укрепления доверия и соблюдения нормативных требований.

Адекватное обучение и интеграция систем автоматизации жизненно важны для оптимизации их производительности и предотвращения зависимости от ошибочных или предвзятых алгоритмов.

Основным методом автоматизации является применение ВІ бизнес-аналитики, которая также называется интеллектуальным анализом данных. Бизнес-аналитика ВІ – инструмент для принятия решений, задачами которого является сбор, изучение, анализ данных, их оцифрование для ускорения и упрощения процесса принятия решений, а также анализа альтернатив с последующим выбором наилучшего решения из доступных альтернатив [4].

Выдающимся примером автоматизации процесса принятия решений является компания Рэя Далио «Bridgewater», в которой были разработаны «Принципы работы» на основе анализа принятых решений сотрудников компании. Используя автоматизированные алгоритмы и прогнозную аналитику, компании могут оптимизировать свои системы управления запасами. Эта автоматизация помогает определить оптимальные уровни запасов, сократить избыточные запасы и минимизировать дефицит [5].

Конечным результатом автоматизации будет функционирующая система поддержки принятия решений (СППР), которая с помощью проанализированных данных «направляет» человека к принятию решения.

Возможностями СППР является создание статистики и ее анализ; составление прогнозов на основе имеющихся данных; планирование и контроль качества; анализ рисков и скрытых закономерностей; отслеживание поведения человека и формирование клиентских групп; управление активами и пассивами; перераспределение задач между сотрудниками.



Согласно данным компании FIS, около 80% средних и крупных компаний используют СППР; использование компанией FIS СППР позволило сократить риски кредитования физических и юридических лиц на 30 % [6].

Таким образом, автоматизация принятия решений на предприятиях революционизирует методы работы организаций. Используя технологии искусственного интеллекта и машинного обучения, компании могут повысить эффективность, уменьшить предвзятость, оптимизировать распределение ресурсов и принимать решения на основе данных. Однако для организаций крайне важно найти баланс между автоматизацией и человеческим суждением, гарантируя прозрачность, справедливость и соответствие требованиям. Использование автоматизации процесса принятия решений позволяет предприятиям преуспевать в условиях все более конкурентной и ориентированной на данные бизнес-среды.

### Библиографический список

1. Максимов М.И., Шамилова А.Р. Инструменты цифровой трансформации в повышении эффективности бизнес-процессов инновационной деятельности компании // Региональная и отраслевая экономика. 2023. – № 1. – С. 137–145.
2. Шекшуева С. В., Татьяна Г.В. Внедрение чат-ботов с искусственным интеллектом в дистанционное банковское обслуживание как способ повышения конкурентоспособности коммерческого банка // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2023. – №3 (75). – С. 47–51.
3. Адаменко А.А., Сулима Е.П., Мусаева Х.М. Цифровая трансформация бизнес-процессов экономических систем // Деловой вестник предпринимателя. – 2023. – № 2 (12). – С. 77–81.
4. Салыхова Д.Р., Панфилов П.Б., Горшков Г.С. Автоматизация процесса принятия решений с использованием VI-инструментов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2021. – № 10. – С. 76–85.
5. «Всепогодная» инвестиционная стратегия. Бэкстестинг и сравнение с консервативными стратегиями / И.В. Ариничев, В.Г. Коломеец, С.М. Геворкян, Г.Л. Габриелян // Вестник Академии знаний. – 2019. – № 4 (33). – С. 29–33.

6. Замалиева Г.В., Уразбахтина Л.Р. Цифровизация бизнес-процессов как фактор формирования конкурентного преимущества предприятия // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 83-3. – С. 24–26. DOI: 10.18411/trnio-03-2022-92

### **Сведения об авторах**

**Афанасьев Михаил Витальевич** – аспирант кафедры «Экономика и организация производства» Казанского государственного энергетического университета, гр. БИПа-1-22, г. Казань, e-mail: [mikhail.afanasev.98@inbox.ru](mailto:mikhail.afanasev.98@inbox.ru)

**Уразбахтина Лилия Равилевна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и организация производства» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, e-mail: [strat.men@yandex.ru](mailto:strat.men@yandex.ru)

**П.А. Микишева, Н.И. Мустафина**

Пермский филиал Национального исследовательского  
университета «Высшая школа экономики», Пермь

## **АНАЛИЗ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ОПЕРАЦИЙ РЕМОНТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО МЕТОДИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО- СТОИМОСТНОГО АНАЛИЗА**

В процессе обучения на третьем курсе «Программной инженерии» в Пермском филиале Высшей школы экономики обеспечению качества тестирования студенты проходят метод функционально-стоимостного анализа. С его помощью на этапе проектирования можно предупредить возникновение лишних затрат, а на этапах изготовления и эксплуатации – снизить затраты. Мы применили этот метод к оценке стоимости информационной системы по контролю ремонта электродвигателей. В ходе выполнения функционально-стоимостного анализа выделяются функции и компоненты системы, определяется, какие компоненты реализуют какие функции. Для функций и компонент рассчитываются их значимости и стоимости, выявляются случаи отклонения отношения значимости на стоимость. Для отклонившихся от единицы отношений предлагаются способы их улучшения, используя функционально-идеальное моделирование. Из предложений выявляются лучшие, которые можно применить на практике и рассчитывается их влияние на систему. В нашем случае после выявления снизились затраты, которые не являлись обязательными для осуществления функции системы, а качество системы выросло.

**Ключевые слова:** система контроля технологических операций, выявление рисков, улучшение эффективности, оптимизация процессов, мониторинг процесса ремонта, анализ данных, программная инженерия, функционально-стоимостной анализ.

**P.A. Mikisheva, N.I. Mustafina**

Perm Branch of the National Research  
University “Higher School of Economics”, Perm

## **ANALYSIS OF THE REPAIR OPERATIONS CONTROL SYSTEM ELECTRIC MOTORS ACCORDING TO THE METHOD OF FUNCTIONAL AND COST ANALYSIS**

During the studding at the third course of Software Engineering at the Perm branch of the Higher School of Economics, students are learnt the method of FCA (Functional Cost Analysis). It helps to prevent unnecessary costs at the design stage,

and to reduce costs at the manufacturing and operation stages. We applied this method to the cost estimation of the software for electric motor repair control. In the course of FCA analysis functions and components of the system are singled out, it is determined which components realize which functions. For functions and components their significance and costs are calculated, and cases of deviation of the significance to cost ratio are identified. For the relations deviating from 1, ways to improve them are proposed using functional-ideal modeling. From the suggestions, the best ones that can be put into practice are identified and their impact on the system is calculated. In our case, after the identification, the costs, which were not necessary to realize the function of the system, decreased and the quality of the system increased.

**Keywords:** process operations control system, risk identification, efficiency improvement, process optimization, repair process monitoring, data analysis, software engineering, functional cost analysis.

Разработка программного обеспечения связана с затратами на проектирование и разработку модулей, реализующих функции. В любой системе при этом появляются резервы на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации. Одной из методик, позволяющих выявить эти резервы и их сократить, является функционально-стоимостный анализ (ФСА). Необязательными являются затраты на функции, значимость которых мала, но платить за них приходится много, среди реализаций таких функций нужно найти такие реализации, где соотношение «цена/качество» оптимально, то есть равно единица. Основные предпосылки ФСА состоят в том, что у любой системы есть структура, которая изготавливается разработчиками. Функции – то полезное, что система готова предоставить пользователям. Все они имеют разные значимости. Части структуры реализуют функции. Можно пересчитать стоимость частей структуры в стоимость функций, и значимость функций в значимость структур. Если функция значима, то мы готовы платить за неё много, но не наоборот. В случае выявления таких несоответствий между значимостью и стоимостью следует подумать, как это соотношение можно выровнять и применить найденные решения на практике. Это позволит уменьшить затраты на производство частей структуры информационной системы, и стоимость всей разработки снизится, либо при незначительном увеличении стоимости качество системы существенно возрастет.

Метод ФСА был придуман Ю.М. Соболевым и Л.Д. Майлзом независимо друг от друга для снижения стоимости произведенных изделий, а применение его для анализа информационных систем остается недоисследованным вопросом [1].

В настоящей статье представлены результаты применения методики ФСА для снижения себестоимости разработки информационной системы контроля ремонта электродвигателей. Цель исследования – рассчитать стоимость реализации информационной системы и снизить её с помощью применения методики ФСА.

В качестве материалов использовалась система контроля технологических операций ремонта электродвигателей. Описание работы системы:

1. Двигатель, нуждающийся в ремонте, приходит на ремонт в фирму, ему назначают номер в системе и список работ.

2. Карточка ремонта перемещается в список «В работе», где список незаконченных ремонтов виден всем пользователям.

3. На каждую операцию назначается мастер, ответственный за каждую операцию.

4. Мастер начинает операцию и отвечает за её конец, он же назначает рабочих на конкретную операцию.

5. После завершения операции мастер редактирует карточку ремонта – ставит операции значение завершенности, когда все операции из списка работ завершены, ремонт заканчивается, и карточка двигателя перемещается в список «Выполненные».

6. Для директора есть возможности составлять отчёты, предоставляющие информацию, когда и какой рабочий, выполнял какую операцию;

7. Администратор может выполнять операции по добавлению, редактированию, удалению операций, групп операций, заказчиков, пользователей.

8. Также администратор может выполнять действия по назначению пользователям их роли и добавления операции в определённую группу операций.

Для анализа системы была применена методика ФСА [2, 3]. Суть применения ФСА состоит в том, чтобы путём перераспределения стоимости между компонентами системы снизить общую себестоимость информационной системы. Проведение ФСА анализа состоит из нескольких этапов:

1. Подготовительный.

1.1. Выбор объекта для анализа (наш объект – система контроля ремонта электродвигателей).

1.2. Определение узких мест объекта.

1.3. Формулировка цели проведения ФСА (наша цель – улучшение соотношения «цена/качества», необходимо сделать цену ниже, а качество выше. Стоимость функций системы должна снизиться на 15%, а значимость функций измениться в пределах 5 %).

2. Информационный: определение претензий к системе (наши претензии, составленные по модели «параметры – Претензии – Предложения») (ППП): количество просроченных двигателей и задержек ремонтов).

3. Аналитический.

3.1. Выявление и классификация функций системы.

3.2. Определение компонентов (структуры) системы.

3.3. Сопоставление функций и компонентов системы, составление функционально-структурной модели (графа).

3.4. Определение значимости функций.

3.5. Определение стоимости компонентов.

3.6. Перенос стоимости со структуры на функции.

3.7. Перенос значимости с функций на структуры.

3.8. Сопоставление значимости и стоимости функций и структур.

4. Творческий: разработка предложений по усовершенствованию информационной системы, применение функционально-идеального моделирования – эвристик идеализации системы для выявления путей улучшения продукта.

5. Исследовательский: проверка предложенных решений.

6. Рекомендательный: принятие решений и внедрение новых идей.

7. Внедренческий: внедрение принятых решений и реализация плана по улучшению системы.

Упомянутые выше эвристики идеализации системы:

1. Функция не нужна, если нет объекта воздействия или он не нуждается в обработке.

2. Функция выполняется сама собой или объект воздействия сам выполняет обработку себя.

3. Функцию выполняют другие компоненты.

Применение этих эвристик даёт возможность усовершенствовать некоторые функции, стоимость которых кажется слишком большой для их значимости, и перераспределить ее так, чтобы соотношение значимости на стоимости для этих функций стала ближе к единице.

Проведение ФСА анализа начинается с выявления и построения иерархии функций и компонент системы. Функции формулируются по

принципу «субъект – действие – объект» и классифицируются, после этого оценивается их значимость. Значимость – это произведение частоты использования функции на её трудоёмкость использования. Обе оценки выставляются изначально по шкале 0-1-2, где величины оцениваются экспертным путём, а потом значимость функций пересчитывается в проценты и распределяется по уровням иерархии. В ходе выполнения ФСА анализа были выявлены 50 функций и присвоены им соответствующие значимости.

Компоненты системы – это модули, существующие в уже реализованной системе. После того как компоненты выявлены, им присваивается их стоимость, исходя из оценки времени разработки, которую тратят на производство модулей специалисты, участвующие в разработке ПО, в нашем случае – это аналитик, разработчик, тестировщик. После оценки стоимости в рублях она переводится в проценты для удобства сравнения со значимостью функций. Так как оценки производятся в разных шкалах, их надо привести в одно измерение, из абсолютных величин перейти к относительным. Были выявлены 31 компонента, и также рассчитаны их стоимости.

После выявления функций и компонент системы они были сопоставлены друг с другом. Была составлена функционально-структурная матрица и граф, отображающий зависимости функций и компонент друг от друга. После этого стало возможно рассчитать значимость компонент и стоимость функций, соотнести значимость функций со стоимостью их реализации и найти отклонения в соотношении значимости/стоимости среди них. Для визуализации нахождения отклонений были построены несколько видов графиков (рис. 1, 2). Диаграммы позволяют оценить, сколько функций и компонент отклонились от единицы.

По выявленным отклонениям в отношении значимости и стоимости были сформулированы предложения по улучшению системы с применением эвристик идеализации. Было предложено убрать некоторые функции, выполнение задач которых было поручено другим функциям, в результате стоимость реализации структуры уменьшилась на 49 %, значимость функций стала лучше на 22 %.

После первой итерации применения эвристик идеализации системы возникают только самые очевидные предложения по улучшению. Например, в нашем случае, это объединение списка выполненных/невыполненных работ. Поэтому было предложено провести функционально-идеальное моделирование ещё раз.

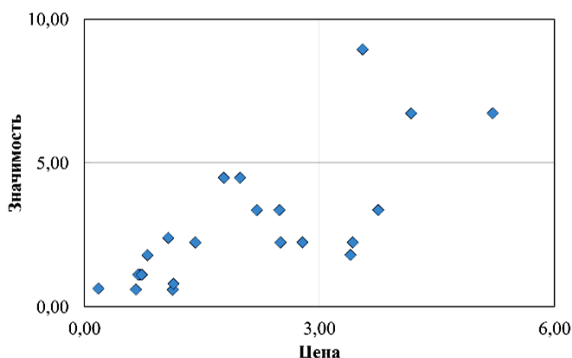


Рис. 1. Отклонение значимости/стоимости для функций

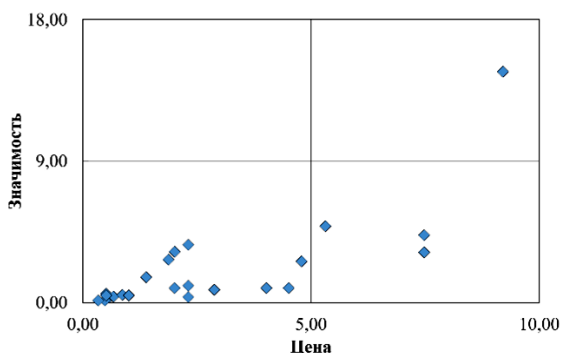


Рис. 2. Отклонение значимости/стоимости для компонент

Во время второй итерации улучшений было предложено не только убирать функции, чьё соотношение стоимости и полезности сильно отличается от единицы, но и добавить новые функции и компоненты. Так, было предложено сократить часть операций по работе с двигателем по операциям, заменив ручной ввод некоторой информацией сканированием QR-кодов. Были также убраны некоторые бесполезные функции и добавлены две новые и одна компонента. Так, после второй итерации улучшений стоимость снизилась на 28 %, а значимость функций стала лучше на 55 %. Соотношение значимости и стоимость после двух итераций применения эвристик идеализации системы дало прирост относительно такого же показателя до их применения на 37 %, что можно считать положительным итогом применения метода ФСА.



Применение методики функционально-стоимостного анализа для информационных систем – всё ещё не до конца исследованная область. Нашим исследованием мы хотели доказать применимость и полезность метода для анализа информационных систем и получить приемлемые результаты для продолжения исследования в этой области.

Цель исследования состояла в том, чтобы применить методику ФСА для уменьшения стоимости системы, несильно уменьшив её значимость, тем самым повысив её качество. Оказалось, что можно понизить стоимость реализации системы на 55 % путём применения ФСА анализа, применив эвристики идеализации системы для формулирования предложений по улучшению её качества и получить прирост качества в 37 %.

### **Библиографический список**

1. Шатунова Г.А., Кузьмина О.Н. Историко-логический генезис и периодизация этапов развития функционально-стоимостного анализа // Вестник Самарского гос. эконом. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 91–96.

2. Функционально-стоимостный анализ программного обеспечения киберфизической системы офисного здания / Э.А. Неганова, В.Д. Марквирер, М.А. Плаксин, А.И. Дерябин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 29. – С. 7–31.

3. Абросимова Е.Б. Функционально-стоимостной анализ как инструмент бережливого производства // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 4, № 12. – С. 84–88.

### **Сведения об авторах**

**Микишева Полина Алексеевна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Пермь, e-mail: mikisheva.p@yandex.ru

**Мустафина Назгуль Ибрагимовна** – студентка Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Пермь, e-mail: nazgul-2003@mail.ru

**И.С. Азанов, О.А. Билоус**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ЛЕДОВОЙ АРЕНЕ**

Рассматривается верхний уровень автоматизации системы приточно-вытяжной вентиляции на ледовой арене. Описан пользовательский интерфейс SCADA Desigo CC.

**Ключевые слова:** SCADA, автоматическое управление.

**I.S. Azanov, O.A. Bilous**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **AUTOMATION OF SUPPLY AND EXHAUST VENTILATION SYSTEM AT THE ICE ARENA**

The article discusses the upper level of automation of the supply and exhaust ventilation system in the ice arena. The Desigo CC SCADA user interface is described.

**Keywords:** SCADA, automatic control.

Приточно-вытяжная система вентиляции представляет собой комплекс оборудования, обеспечивающего забор воздуха с улицы, его очистку от пыли, пыльцы, подогрев и подачу в помещение.

Разработанная система автоматического управления осуществляет следующие функции управления приточно-вытяжной вентиляцией:

1. Выбор режима работы: по команде оператора (Включить / Отключить) или по расписанию (при включении режима «Автоматический»).

2. Возможность задания различных частот работы двигателей вентиляторов для увеличения энергоэффективности.

Внедрение АСУ приточно-вытяжной вентиляции позволило: расширить функции автоматического и автоматизированного контроля и управления; повысить надежность функционирования системы противоаварийной защиты; повысить качество управления процессом воздухообмена; сократить количество и время локализации аварийных

ситуаций и отказов оборудования [1, 2]. Рассмотрим верхний уровень автоматизации. Для отображения работы системы используется SCADA Desigo CC. Пользовательский интерфейс Desigo CC обеспечивает эффективную работу с системой.

Включает в себя:

1. Менеджер системы (рис. 1), представляет собой окно с несколькими панелями для навигации, контроля состояния и управления всеми подсистемами на объекте. Каждая панель содержит функциональный компонент системы (например, обозреватель для навигации и выбора объектов, инструменты для составления расписания и т.д.).
2. Панель событий, позволяет осуществлять быстрый доступ и простую обработку событий.

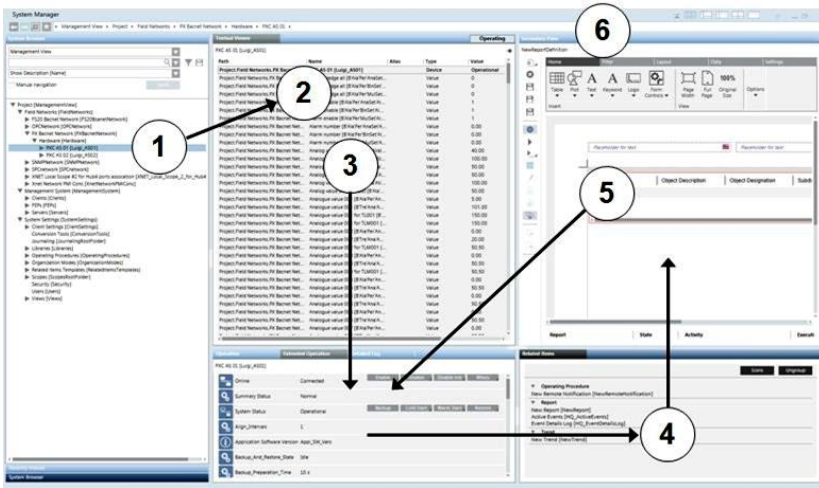


Рис. 1. Вид менеджера системы

Менеджер системы позволяет выводить на экран схемы оборудования и установок. Пользователь работает с точками данных по всей системе в интерактивном режиме. На рис. 1 показаны точки:

- 1) выбор элемента в обзоре системы;
- 2) доступ к информации и инструментам в основной панели;
- 3) выбор и получение подробной информации в контекстной панели;
- 4) доступ к дополнительным функциям в панели связанные элементы;
- 5) работа с дополнительными функциями во вспомогательной панели;
- 6) панель навигации размещается в верхней части менеджера системы.

В левой части менеджера системы показано раскрывающееся дерево выбора различных меню и экранов управления.

В этом подразделе оператор может выбрать необходимый экран управления для отображения.

При необходимости отдельные параметры/меню могут быть показаны на вспомогательной панели одновременно с главным экраном.

В верхней части пользовательского интерфейса находится панель сообщений, отображающая текущие аварийные сообщения в соответствии с их категорией.

Для просмотра сообщений необходимо выбрать требуемую категорию.

Также можно быстро свернуть/отобразить список событий с помощью клавиши, расположенной в правом верхнем углу интерфейса.

Аварийные сообщения открываются в отдельном всплывающем окне.

Также все события при необходимости можно отфильтровать в зависимости от требуемых условий.

Звуковая сигнализация событий может быть включена/выключена с помощью кнопки управления звуком.

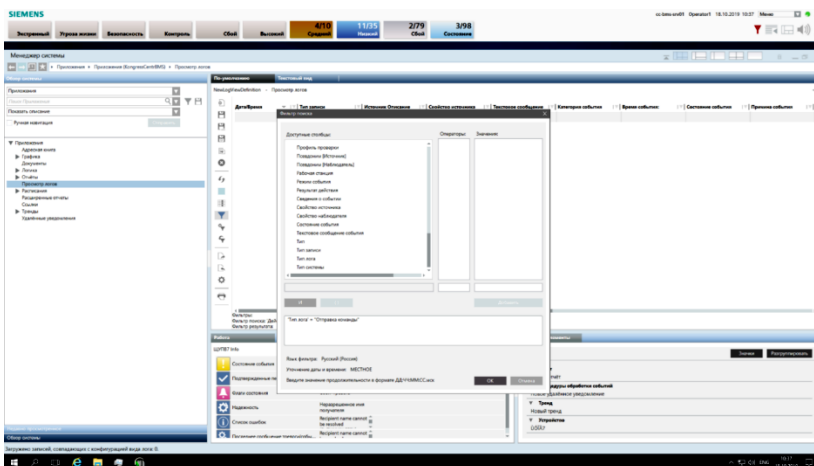


Рис. 2. Пример применения «Фильтра поиска»

Приложение «Просмотр логов» (LogViewer) в «Обзор системы/Приложения» обеспечивает показ всех событий и действий пользователя, записанных в хронологическом порядке. Таким образом, пользователи имеют доступ ко всем событиям. Для отображения событий



**А.Ф. Арасланов, А.А. Бачурин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

**ВЫБОР СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ДЛЯ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ  
ПО 3D-МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЩИТА  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Описана учебно-исследовательская работа, требующая применения 3D-моделирования с использованием системы автоматического проектирования. Произведены анализ, сравнение и выбор системы автоматического проектирования.

**Ключевые слова:** системы автоматического проектирования, 3D-моделирование, щит распределения и учета электроэнергии, сравнение, критерии, КОМПАС-3D, FreeCAD, Fusion360, AutoCAD, SiemensNX, ADEM.

**A.F. Araslanov, A.A. Bachurin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**SELECTION OF CAD FOR EDUCATIONAL AND RESEARCH  
WORK ON 3D MODELING OF AN INDUSTRIAL ELECTRICITY  
DISTRIBUTION AND METERING CABINET**

This article describes an educational and research project that requires the use of 3D modeling using CAD. Analysis, comparison and selection of CAD systems are provided.

**Keywords:** CAD, 3D modeling, electricity distribution and metering board, comparison, criteria, КОМПАС-3D, FreeCAD, Fusion 360, AutoCAD, SiemensNX, ADEM.

Выбор системы автоматизированного проектирования (САПР) является одним из первых этапов учебно-исследовательской работы (УИР). Эта стадия ответственная и важная, поскольку от правильного выбора САПР зависят качество и производительность решения проектных задач. УИР направлена на то, чтобы студенты научились делать более осознанный выбор САПР для наиболее эффективного ре-

шения задач 3D-моделирования применительно к электротехнической области, а также на улучшение навыков работы в выбранных программах и повышение опыта в выполнении задач, связанных с разработкой 3D-моделей [1–17].

**Выбор САПР.** Перед непосредственным решением задач по 3D-моделированию производится сравнение заданных в варианте работы шести САПР. Сравнение начинается с подбора критериев, далее по отобранным критериям осуществляется оценка каждой САПР и далее по выбранной методике вычисления итогового балла получается финальная оценка для каждой САПР, по которой производится отбор оптимальной из них.

В результате отбора критериев авторами данной УИР были оставлены:

1. Интуитивно понятный интерфейс САПР. Это поможет сократить время на ее освоение и повысить производительность студентов в работе.

2. Простая возможность получить бесплатную или пробную версию. Всегда доступны взломанные версии САПР, но в этом варианте есть высокая вероятность внести вирус на компьютер, поэтому студентам лучше скачать версии с официальных сайтов, обладающих правами на конкретную САПР? – можно скачать программу с бесплатным периодом работы для студентов или получить пробную версию, использование которой составит как минимум половину месяца, в которой будет полный функционал САПР, так как возможно, что при скачивании пробной версии, студенты успеют выполнить нужные им 3D-модели для выполнения данной УИР.

Также важно отметить, что некоторые иностранные САПР (даже их пробные версии) не получится скачать без использования VPN-серверов ввиду приостановки деятельности управляющих ими компаний на территории РФ.

Поэтому простой возможности получить бесплатную или пробную версию в таком случае не будет из-за больших затрат по времени при подключении к VPN-серверам.

3. Поддержка общих форматов файлов выбираемых САПР. Нужно подобрать такие САПР, проекты которых можно было бы экспортировать в другие САПР или импортировать из них. Это важно, так как

студентам предстоит работать в команде. Необходимо выбрать те САПР, которые могут импортировать исходные данные (например, 3D-модели, скачанные из Интернета или перенесенные из других программ проектирования), представленными одинаковыми форматами, например, такими распространенными, как: STL, DXF, SAT. То есть должна быть возможность перенести в САПР исходные данные, чтобы без проблем работать с ними.

Так же важно, чтобы САПР могла экспортировать файлы в форматах, принимаемыми другими программами проектирования, например такими часто встречающимися, как: DXF, DWG, STEP, STL. Это важно, так как при выполнении работы в команде студентам, возможно, придется обмениваться данными между САПР, которые они выбрали для работы.

4. Русификация интерфейса. Студентам из России проще работать, когда интерфейс САПР будет на родном языке.

5. Требования САПР к компьютеру. Необходимо определить, подойдут ли конкретные САПР для конкретного компьютера студента. Нужно учесть требуемые объем занимаемого места, требуемый объем ОЗУ, мощность процессора и версию операционной системы. Кроме того, для скачивания программы необходимо учесть рекомендованную производительность компьютера для бесперебойной работы САПР и комфортного 3D-моделирования.

Исходя из всего этого, нужно выбрать такую САПР, которая предъявляет наименьшие требования к компьютеру. То есть чем меньше требований, тем выше балл оценивания.

6. Возможности САПР для решения задач, требуемых для выполнения данной учебно-исследовательской работы. Нужно, чтобы САПР подходила для 3D-моделирования производственного щита распределения и учета электроэнергии и его составляющих (кабелей, счетчиков, трансформаторов и т.д.).

7. Предыдущий опыт работы в конкретных САПР. Имея даже минимальные навыки работы в какой-нибудь САПР, студент быстрее выполнит задачи по моделированию.

Также некоторые критерии были отбракованы, такие как возможность моделировать в САПР на компьютерах вуза. Студентам пред-



стоит большую часть времени проектировать в домашних условиях. К тому же в вузе может не быть установленных САПР, которые студенты могут выбрать, а также возможно отсутствие возможности экспорта или импорта на вузовские компьютеры проекта, создаваемого в одной и той же САПР, из-за несоответствия версий программы.

В качестве примера в таблице показаны результаты оценивания САПР.

Сравнение САПР

		САПР					
		КОМПАС-3D	FreeCAD	Fusion 360	AutoCAD	Siemens NX	ADEM
Критерии оценивания	1. Интуитивно понятный интерфейс САПР	10	10	10	10	10	10
	2. Простая возможность получить бесплатную или пробную версию	Да	Да	Да	Да	Нет	Да
	3. Поддержка общих форматов файлов выбираемых САПР	Да	Да	Да	Да	Да	Да
	4. Русификация интерфейса	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да
	5. Требования САПР к компьютеру	5	7	8	6	4	4
	6. Возможности САПР для решения задач, требуемых для выполнения учебно-исследовательской работы	10	10	10	10	10	10
	7. Предыдущий опыт работы исполнителей в конкретных САПР	10	0	0	0	0	0
	Итоговые баллы	36	28	28	26	0	24

Процесс оценивания САПР по выбранным критериям.

1. Переход от логических типов данных «Да» и «Нет» к баллам: «Да» = 1 балл, «Нет» = 0 баллов.

2. САПР должна удовлетворять второму и третьему критериям, так как при невыполнении хотя бы одного условия мы не установим ее на компьютер. Оценка из второго критерия умножается на балл из тре-

тьего критерия. Получается промежуточный балл, равный единице, или окончательный балл, равный нулю.

3. Если из первого пункта оценка равна единице, то складываются баллы из каждого критерия, в которых не содержались логические типы данных, к этому прибавляется оценка «1» или «0» за русификацию интерфейса. Полученная сумма – итоговый балл оценивания САПР.

**Заключение.** В результате сравнения из шести САПР (КОМПАС-3D, FreeCAD, Fusion360, AutoCAD, SiemensNX, ADEM) была выбрана оптимальная САПР – КОМПАС-3D (36 баллов). Она больше остальных удовлетворяет заданным требованиям.

С использованием выбранных по данным критериям отбора САПР студенты должны успешно выполнить 3D-моделирование производственного щита распределения и учета электроэнергии.

Таким образом, данная работа помогает научиться делать более осознанный выбор САПР для наиболее эффективного решения задач, связанных с 3D-моделированием, а также способствует улучшению или приобретению навыков работы в выбранных системах автоматизированного проектирования и повышению опыта в выполнении задач 3D-моделирования.

### **Библиографический список**

1. Преимущества КОМПАС-3D в САПР – небольшой обзор. URL:<https://texdizain.net/proektirovanie/37-preimuschestva-kompas-3d-v-sapr-nebolshoy-obzor.html> (дата обращения: 12.11.2023).

2. Системные требования. – URL: [https://help.ascon.ru/KOMPAS/21/ru-RU/52\\_glava1\\_trebovaniya\\_k\\_apparatnym\\_sredstvam.html](https://help.ascon.ru/KOMPAS/21/ru-RU/52_glava1_trebovaniya_k_apparatnym_sredstvam.html) (дата обращения: 12.11.2023).

3. FreeCAD – скачать бесплатно FreeCAD 0.21.1 (softportal.com). – URL: <https://www.softportal.com/software-48317-freecad.html?ysclid=lox666vww1184710550> (дата обращения: 12.11.2023).

4. Fusion 360 – Лучшее бесплатное программное обеспечение для САПР – Информация о фрезерном станке с ЧПУ. – URL: [https://cncrouterinfo.com/ru\\_ru/статья/лучшее-бесплатное-cad-программное-обесп/](https://cncrouterinfo.com/ru_ru/статья/лучшее-бесплатное-cad-программное-обесп/)(дата обращения 12.11.2023).

5. Системные требования Fusion 360 и рекомендации для ПК. – URL: [https://webznam.ru/blog/kompjuter\\_fusion\\_360/2023-07-14-2362?ysclid=loxd7mondc210248454](https://webznam.ru/blog/kompjuter_fusion_360/2023-07-14-2362?ysclid=loxd7mondc210248454) (дата обращения: 12.11.2023).

6. Системные требования AutoCAD и рекомендации по сборке ПК. – URL: [https://webznam.ru/blog/kompjuter\\_autocad/2023-07-19-2363](https://webznam.ru/blog/kompjuter_autocad/2023-07-19-2363) (дата обращения: 12.11.2023).

7. Download AutoCAD 2024 | AutoCAD Free Trial | Autodesk. – URL: <https://www.autodesk.com/products/autocad/free-trial> (дата обращения: 12.11.2023).

8. Программа Autodesk AutoCAD: для чего предназначена, какие функции и возможности имеет, где скачать софт. – URL: <https://junior3d.ru/article/Autodesk-AutoCAD.html> (дата обращения: 12.11.2023).

9. AutoCAD – обзор и поддерживаемые типы файлов. – URL: <https://filenp.com/ru/autocad?ysclid=loxels1a4w104194683> (дата обращения: 12.11.2023).

10. Официальный сайт ООО «АСКОН – Системы проектирования». – URL: <https://www.kompas.ru> (дата обращения: 21.11.2020).

11. Кузьмин О.В., Кедрин В.С. Анализ структуры гармонических рядов динамики на базе алгоритма сингулярного разложения // Проблемы управления. – 2013. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-strukturygarmonicheskikh-ryadov-dinamiki-na-baze-algoritma-singulyarnogo-razlozheniya> (дата обращения: 22.04.2022).

12. О внесении изменений в федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности». – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_418589/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_418589/) (дата обращения: 12.11.2023).

13. Знакомство с ADEM | САПР-журнал. – URL: <https://sapr-journal.ru/uroki-adem/znakomstvo-s-adem/?ysclid=lq0xwp4bnn455993404> (дата обращения: 11.12.2023).

14. CAD. ADEM. Руководство пользователя. – URL: <https://studfile.net/preview/890221/page:31/> (дата обращения: 11.12.2023).

15. Установка – ADEM. – URL: <https://adem.ru/support/install/?ysclid=lq0y7vi41j975702076> (дата обращения: 11.12.2023).

16. SiemensNx системные требования компьютера. – URL: <https://doma35.ru/computers/siemens-nx-sistemnye-trebovaniya-kompyutera/> (дата обращения: 11.12.2023).

17. Расширения файлов, поддерживаемые SiemensNX. – URL: <https://file.tips/ru/software/siemens-nx> (дата обращения: 11.12.2023).

### **Сведения об авторах**

**Арасланов Амир Фанилевич** – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. АЭП-23-1б, г. Пермь, e-mail: [amiraraslanov@gmail.com](mailto:amiraraslanov@gmail.com)

**Бачурин Андрей Анатольевич** – старший преподаватель кафедры «Микропроцессорные средства автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [ba.msa.pstu@gmail.com](mailto:ba.msa.pstu@gmail.com)

**Секция 3**

**ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ.  
ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

**А.Ф. Амирханова, Л.В. Баракаева, О.С. Новоселова**

Казанский государственный энергетический  
университет, Казань

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИНТЕГРАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ  
УСТРОЙСТВ И ДАТЧИКОВ В МЕХАНИЧЕСКИЕ  
СИСТЕМЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ  
АВТОНОМНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Анализируется проблема интеграции электронных устройств и датчиков в механические системы для оптимизации управления роботами и автономными системами. Рассматриваются современные методы интеграции, их преимущества и ограничения. Проведенный анализ может служить основой для разработки более эффективных и надежных систем управления.

**Ключевые слова:** электронные устройства, датчики, механические системы, роботы, автономные системы, управление.

**A.F. Amirhanova, L.V. Barakaeva, O.S. Novoselova**

Kazan State Energy University, Kazan

**ANALYSIS OF METHODS FOR INTEGRATING ELECTRONIC  
DEVICES AND SENSORS INTO MECHANICAL SYSTEMS  
TO IMPROVE THE CONTROL OF AUTONOMOUS SYSTEMS**

The problem of integrating electronic devices and sensors into mechanical systems to optimize the control of robots and autonomous systems is analyzed. The article discusses modern integration methods, their advantages and limitations. The analysis carried out can serve as the basis for the development of more efficient and reliable control systems.

**Keywords:** electronic devices, sensors, mechanical systems, robots, autonomous systems, control.

В современных автономных устройствах и роботизированных системах интеграция электроники и датчиков в механические компоненты играет ключевую роль в обеспечении эффективного управления. Достижения в этой области открывают новые горизонты для повышения функциональности и точности оборудования.

Одним из наиболее эффективных методов интеграции является использование технологий беспроводной связи. Исследования показывают, что использование беспроводных систем связи между датчиками и контроллерами в роботах позволяет сократить количество проводов в системе. Сокращение количества проводов уменьшает вес и размер устройств, тем самым повышая их мобильность и гибкость.

Использование беспроводных технологий в робототехнике широко распространено. Например, в беспилотных летательных аппаратах беспроводные датчики, измеряющие высоту, скорость, температуру и ориентацию, передают данные на управляющий компьютер. Это позволяет дрону автоматически корректировать свое положение и поддерживать стабильный полет [1].

Интеграция датчиков в механические системы широко используется, особенно в робототехнике. Ярким примером является использование инерциальных измерительных блоков (IMU) в роботах. Эти IMU, состоящие из акселерометров и гироскопов, встраиваются в роботов для определения их положения и ориентации в пространстве [2]. Такой подход позволяет роботам эффективно реагировать на изменения в окружающей среде и обеспечивать стабильность при движении.

Рассмотрим более конкретный пример такой интеграции в медицинской робототехнике для проведения хирургических операций. В этом случае электроника и датчики интегрированы в механические компоненты и играют важнейшую роль. Механические части робота должны быть точными и надежными, а электроника – чувствительной и мощной, чтобы управлять движениями и выполнять операции с высокой точностью, минимизируя воздействие на ткани пациента. Датчики, связанные с системами управления, позволяют роботу реагировать на изменения в окружающей среде в режиме реального времени, обеспечивая безопасность и точность хирургических операций [3].

Еще один перспективный метод интеграции электроники и датчиков в механические системы – MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). МЭМС – это технология, позволяющая интегрировать микроэлектронику и механические компоненты на одном кремниевом

чипе или в масштабируемых микроэлектромеханических устройствах [4]. Это открывает возможность создания компактных и функциональных систем, объединяющих датчики и электронику для различных применений.

Устройства MEMS включают в себя различные механические элементы, такие как датчики давления, акселерометры, гироскопы или микромеханические зеркала, интегрированные с микроэлектронными компонентами, включая транзисторы, конденсаторы и др. Такое сочетание функциональных элементов позволяет создавать компактные и в то же время мощные системы для широкого спектра применений.

Примеры MEMS-датчиков и их применение:

- **Акселерометры:** MEMS-акселерометры измеряют ускорение и могут использоваться в автомобилях для систем стабилизации или в смартфонах для автоматической смены ориентации экрана [5].

- **Гироскопы:** они измеряют угловую скорость и применяются в устройствах стабилизации, таких как беспилотные летательные аппараты, а также в игровых консолях для обнаружения поворотов и наклона.

- **Датчики давления:** используются в мобильных устройствах для измерения высоты или в медицинских устройствах для мониторинга кровяного давления.

Преимущества использования MEMS:

- **Компактность:** MEMS-датчики и устройства могут быть очень маленькими, что позволяет легко интегрировать их в различные механические системы без увеличения их размеров.

- **Низкое энергопотребление:** благодаря своей малой массе и малому энергопотреблению, MEMS-устройства эффективно работают в различных приложениях, где важна экономия энергии.

- **Низкая стоимость производства:** процессы микроэлектромеханики позволяют создавать MEMS-устройства массового производства с низкой стоимостью.

Переход к беспроводным технологиям в управлении автономными системами имеет очевидные преимущества. Однако важно признать их ограничения. Например, ограниченная полоса пропускания и возможные помехи при передаче данных могут стать проблемой.



Исследования показывают, что в некоторых критических сценариях требуется высокая надежность и минимальная задержка передачи данных, что делает проводные технологии предпочтительными.

Важным направлением развития является интеграция электроники и датчиков в механические системы для управления автономными устройствами. Это направление имеет огромный потенциал в различных областях. Такие методы, как использование беспроводных технологий, интеграция датчиков, МЭМС и машинное обучение, помогают повысить эффективность [6], точность и функциональность автономных систем.

Несмотря на проблемы и ограничения, активные исследования и инновации в этой области позволяют разрабатывать более интеллектуальные, адаптивные и эффективные решения. Эти достижения ведут нас к более надежному и инновационному будущему автономных систем и робототехники.

### **Библиографический список**

1. Строжев В.В., Феоктистов Н.А. Системотехника и мехатроника технологических машин и оборудования. – М.: Дашков и К, 2015.

2. Дашевский В.П., Бизин М.М. Обзор возможностей бортовых вычислителей на основе SMARC-модулей для робототехнических комплексов // Доклады Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – Вып. 3 (37). – С. 91–97.

3. Сысоева С.С. Датчики магнитного поля. Спектр высокообъемной продукции от ведущих поставщиков // Компоненты и технологии. 2012. № 1. – С. 19–21.

4. Шилкин Д.В., Маслова Г.Д. Возможности интеллектуальных приборов учета в борьбе с хищениями электроэнергии. В книге: Электроэнергетика: XVII Всерос. (IX Междунар.) науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых: в 6 т. – Иваново, 2022. – С. 13.

5. Neuro-robotics from brain machine interfaces to rehabilitation robotics / Ed. P. Artemiadis. – Springer Science + Business Media, Dordrecht, 2014. – 448 p.

6. Маслов И.Н., Халиева А.М., Файзуллина Г.И. Расчет экономического эффекта от внедрения интеллектуальных приборов учета электроэнергии // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. – 2021. – С. 263–266.

### **Сведения об авторах**

**Амирханова Аделина Фаритовна** – студентка Казанского государственного энергетического университета, гр. ЭПТ-1-22, г. Казань, e-mail: ig-mas@mail.ru

**Баракаева Лия Вячеславовна** – студентка Казанского государственного энергетического университета, гр. ЭПТ-1-22, г. Казань, e-mail: leahbarakaeva@gmail.com

**Новоселова Ольга Сергеевна** – студентка Казанского государственного энергетического университета, гр. ЭПТ-1-22, г. Казань, e-mail: olhanowoselowa@yandex.ru

**А.И. Маврин**

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева, Казань

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНЦИИ БЫСТРОЙ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

Рассматривается вопрос разработки математической модели станции быстрой зарядки электромобилей. Параметры ключевых элементов зарядной станции выбраны таким образом, чтобы обеспечить возможность работы зарядной станции мощностью 120 кВт, напряжением 600 В, силой тока 200 А. С помощью разрабатываемой модели формируются графики тока и напряжения зарядной станции, подтверждающие работоспособность используемой модели.

**Ключевые слова:** электромобиль, зарядная станция, станция быстрой зарядки электромобилей, математическая модель, уровень заряда аккумулятора, процент емкости аккумулятора.

**A.I. Mavrin**

Kazan National Research Technical University  
named after A.N. Tupolev, Kazan

## **ELECTRIC VEHICLE FAST CHARGING STATION MATHEMATICAL MODEL DESIGN**

This article describes the design of a mathematical model of a fast charging station for electric vehicles. The parameters of the key elements of the charging station are selected in such a way as to ensure the ability to operate a charging station with a power of 120 kW, a voltage of 600 V, and a current of 200 A. Graphs of the current and voltage of the charging station are generated, confirming the performance of the model used.

**Keywords:** electric car, charging station, fast charging station for electric vehicles, mathematical model, state of battery capacity, state of battery health.

Важной частью процесса разработки станции быстрой зарядки электромобиля является разработка математической модели станции. Математическая модель позволит подтвердить работоспособность разрабатываемой зарядной станции в части обеспечения требуемых параметров ее работы. С помощью математической модели также возмож-

но исследовать процессы, происходящие в отдельных элементах зарядной станции, в частности, значения тока через тиристоры в момент начала работы станции. В рамках работы над проектированием станции быстрой зарядки электромобилей было выполнено моделирование ее работы при помощи пакета прикладных программ Matlab. Данная модель представлена на рис. 1 [1, 2].

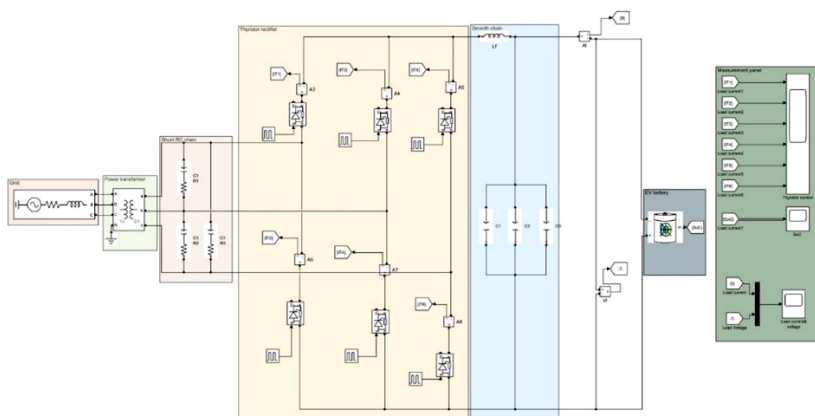


Рис. 1. Математическая модель станции быстрой зарядки электромобилей с подключенным к ней электромобилем

Модель состоит из блоков задания напряжения сети, силового трансформатора зарядной станции, блока шунтирующей RC цепочки, трехфазного мостового тиристорного преобразователя, сглаживающего LC-фильтра, модели аккумулятора электромобиля, подключенного к сети, а также панели измерений полученных значений для построения графиков электрических параметров станции. Значения электрических параметров каждого звена были установлены таким образом, чтобы обеспечить возможность работы зарядной станции мощностью 120 кВт, напряжением 600 В, силой тока 200 А. Выбор параметров зарядной станции обусловлен необходимостью обеспечения быстрой зарядки электромобилей с учетом тенденции изменения среднего уровня заряда аккумуляторных батарей (State of capacity, SoC) электромобилей, представленных на российском рынке. Необходимо также отметить, что использование данных параметров позволит обеспечить получение государственной поддержки при строительстве систем за-

рядных станций в рамках реализации проектов по поддержке развития зарядной инфраструктуры в России [3].

В качестве параметров аккумулятора электромобиля используется значение аккумуляторов наиболее распространенных в текущий момент электромобилей в России, Nissan Leaf, с учетом уменьшения процента емкости аккумулятора (State of Health, SoH) в результате их эксплуатации. Тип используемого аккумулятора – литий-ионный. Стартовое значение уровня заряда аккумулятора установлено в размере 20 %, поскольку, в соответствии с требованиями к обеспечению процесса зарядки для всех используемых типов зарядных интерфейсов, данное значение SoC является пороговым значением для начала процесса быстрой зарядки, что обусловлено требованиями по снижению влияния быстрой зарядки на SoH аккумуляторов при уровне SoC ниже 20 и выше 80 %.

Блок шунтирующих РС цепочек состоит из последовательно соединенных звеньев активного и емкостного сопротивлений и обеспечивает ограничение тока в случае возникновения короткого замыкания для обеспечения защиты тиристорного модуля.

Блок тиристорного преобразователя состоит из 6 тириستоров. В рамках используемой модели для обеспечения работы тиристоров используется блок генерации управляющих импульсных сигналов, которые обеспечивают открывание тиристоров в течение необходимого периода фазы, позволяя обеспечить синхронную работу трехфазного мостового выпрямителя. В рамках используемой модели к каждому тиристорному подключен амперметр для измерения значений тока [4].

Блок сглаживающего фильтра представлен LC цепочкой, задача которой заключается в сглаживании выходных значений тока выпрямителя, что особенно актуально в момент начала заряда аккумулятора электромобиля с целью недопущения возникновения ненормального режима работы зарядной станции.

Для обеспечения измерений параметров работы зарядной станции, в рамках используемой модели к аккумулятору электромобиля подключены амперметр и вольтметр, а также собираются данные уровня SoC аккумулятора электромобиля.

На рис. 2 представлены значения токов на тиристорах в начале процесса зарядки электромобиля.

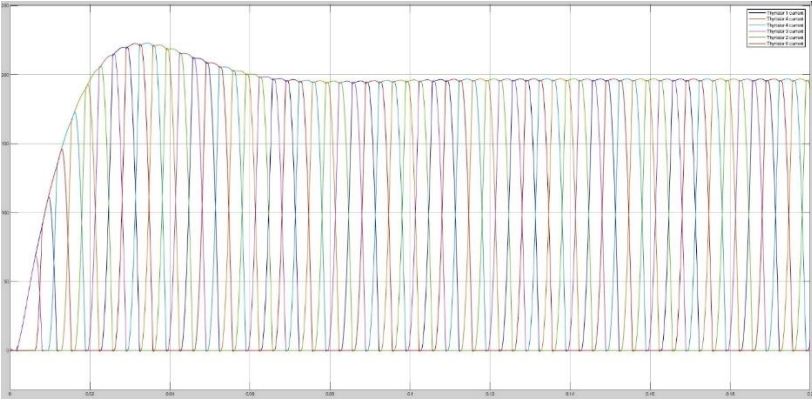


Рис. 2. Значение токов тиристора в момент начала процесса заряда аккумулятора

Как видно из графика, значение тока в начале процесса заряда выше номинального тока заряда аккумулятора. Данный скачок тока сглаживается при помощи фильтра. Дальнейшее значение тока остается на требуемом уровне.

На рис. 3 показаны напряжение и тока на нагрузке зарядной станции.

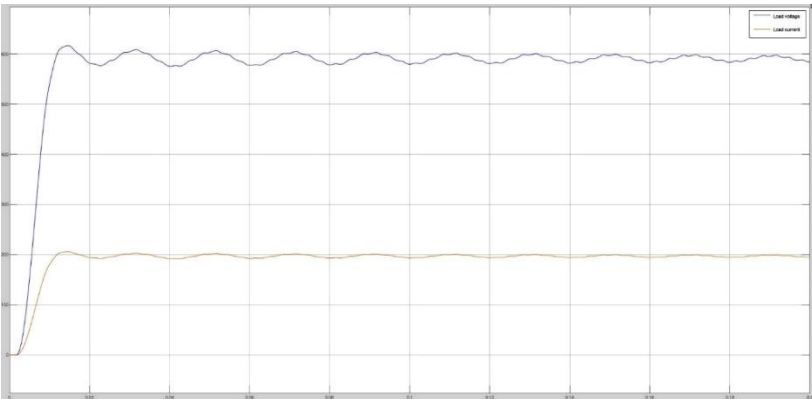


Рис. 3. Значение тока и напряжения на нагрузке зарядной станции

Как видно на рисунка, зарядная станция обеспечивает зарядку аккумулятора электрического автомобиля током 200 А и напряжением 600 В, в соответствии с установленными параметрами. Важно отметить, что

данные параметры зарядки электромобиля характерны для зарядки от уровня SoC не ниже и не выше 80–85 %, в зависимости от параметров аккумулятора. В случае процесса заряда аккумулятора с уровнями SoC ниже и выше 80–85 %, зарядка осуществляется с низкими значениями тока с целью недопущения перегрева и выхода из строя аккумулятора [5].

На рис. 4 представлен график изменения уровня SoC аккумулятора в ходе процесса зарядки.

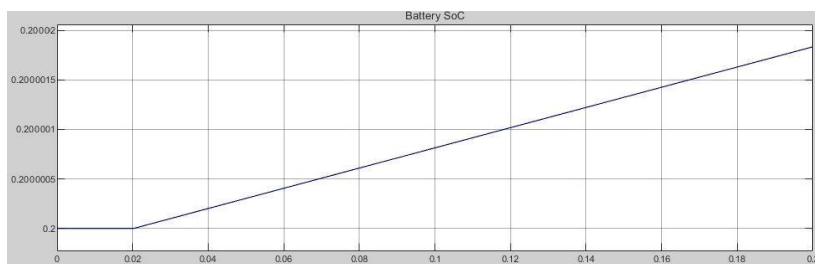


Рис. 4. График изменения уровня SoC аккумулятора в ходе зарядки

Как видно из графика, после начала процесса зарядки электромобиля уровень SoC начинает линейно увеличиваться, что опять же характерно для заряда электромобиля при уровне SoC не ниже и не выше 80–85 %.

Из результатов моделирования станции быстрой зарядки электромобилей можно сделать вывод о работоспособности разработанной зарядной станции, возможности обеспечить требуемые уровни напряжения, тока и мощности.

### Библиографический список

1. Автостат: Аналитическое информационное агентство [Электронный ресурс]. – М., 2022. – URL: <https://www.autostat.ru/analytics/archive/2022/2/> (дата обращения: 21.10.2023).

2. Анисимов В.А., Горнов А.О., Фролов А.А. Проектирование электротехнических устройств: учеб. пособие / под ред. В.В. Москаленко. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 128 с.

3. Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника: учеб. пособие. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.

4. Маврин А.И. Использование тиристоров в качестве блока выпрямителя для станций быстрой зарядки электромобилей [Электронный ресурс] // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Минск: 2021. – № 8. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47155462> (дата обращения: 19.09.2023).

5. Удодов М.С. Концепция развития городской сети станций быстрого заряда электромобилей [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2020. – № 23 (313). – URL: <https://moluch.ru/archive/313/71247/> (дата обращения: 15.11.2023).

### **Сведения об авторе**

**Маврин Алексей Игоревич** – аспирант кафедры «Электрооборудование» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева, г. Казань, e-mail: [mavrinalex@yandex.ru](mailto:mavrinalex@yandex.ru)



**О.А. Зацепина, А.А. Широков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА**

Рассматриваются вопросы, связанные с мониторингом потребления энергоресурсов в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Рассматриваются беспроводные системы сбора данных, в частности GSM/GPRS и LoRaWAN. Приведен сравнительный анализ этих технологий.

**Ключевые слова:** беспроводная технология, LoRaWAN, сфера жилищно-коммунального хозяйства.

**O.A. Zatsepina, A.A. Shirokov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **APPLICATION OF LORAWAN INTELLIGENT TECHNOLOGY IN THE HOUSING AND COMMUNAL SERVICES SECTOR**

The article discusses issues related to monitoring energy consumption in the housing and communal services sector. Wireless data collection systems, in particular GSM/GPRS and LoRaWAN, are considered. A comparative analysis of these technologies is given.

**Keywords:** wireless technology, LoRaWAN, housing and communal services.

Государственная политика в области повышения энергоэффективности ориентируется в первую очередь на решение этих задач в промышленности. В то же время задачи рационального потребления энергоресурсов являются актуальными и для сферы жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Для собственников жилья актуальность повышается в связи с увеличением стоимости электричества, тепла и других ресурсов. В последние годы потребители активно устанавливают приборы учета. Наличие приборов учета способствует сбережению ресурсов, формирует психологию «бережливого хозяйства» [1].

Массовая установка счетчиков является условием организации автоматизированных систем учета энергоресурсов, что позволит

повысить объективность передаваемых показаний и, соответственно, исключить задолженность по их оплате. В то же время внедрение таких систем влечет за собой дополнительные накладные расходы: за приборами нужно следить, организовывать и сопровождать каналы передачи данных.

Именно из-за увеличения расходов на внедрение интеллектуального сбора данных не все компании готовы перейти на дистанционный сбор показаний со счетных устройств. Поэтому до сих пор сбор данных осуществляется путем обхода контролерами узлов учета [1].

Безусловно, подобная система имеет ряд сложностей и недостатков. Во-первых, поквартирный обход – это дорогой и не самый достоверный способ. Во-вторых, отсутствуют инструменты быстрого реагирования на аварийные ситуации, которые могут возникать внутри квартиры, на потери, на несанкционированный отъем энергоресурсов. В-третьих, достаточно долгое ожидание ответов на запрос предоставления какой-либо нужной информации. В-четвертых – это отсутствие быстрого удаленного реагирования на прекращение подачи энергоресурсов на объекты при аварийной ситуации, если, например, абонент отсутствует в квартире и не может обеспечить доступ специалистов. Поэтому внедрение систем автоматизированного сбора данных об энергопотреблении в сфере ЖКХ будет продолжаться.

**Технология GSM/GPRS.** На сегодняшний день разработан ряд технологий по удаленному сбору и передаче показаний с приборов учета, устанавливаемых в частном секторе. В данной статье рассматриваются два наиболее целесообразных варианта передачи данных для мониторинга и управления узлами учета энергоресурсов. Это технологии GSM/GPRS и LoRaWAN.

Технология GSM/GPRS на сегодняшний день имеет широкое применение как по зоне покрытия, так и по сферам использования.

Достоинствами технологии GSM в наших целях являются:

- уже сформированная область реализации;
- обширная зона покрытия;
- простота реализации;
- хорошие скорость и объем передаваемых данных и т.д.

Ввиду того что наша страна самая большая по территории, объекты энергопотребления могут располагаться в труднодоступных зонах, где нет покрытия мобильных сетей либо оно очень слабое, что ограни-

чивает их использование в наших целях. Впрочем, как правило, плотность населения в таких регионах невысока, так что экономическая целесообразность внедрения систем весьма сомнительна.

Недостатки технологии GSM/GPRS:

– высокие затраты на закупку оборудования, на обслуживание этого оборудования в течение долгого времени эксплуатации. Туда же включаются и траты на абонентскую плату оператору сети;

– низкая энергоэффективность. Несмотря на то что оконечное устройство находится в режиме сна, энергопотребление большое за счет того, что приходится постоянно поддерживать соединение. Это требование протокола. Также на энергопотребление влияет и мощность радиоизлучения. Все это приводит к тому, что для нормальной работы оборудования без сетевого питания необходимо использовать энергоемкие батареи;

– габариты оборудования. При аналитическом сравнении GSM-модулей и радиомодемов LPWAN можно сделать вывод, что первый по своим габаритам значительно превосходит второй. Ввиду этого присутствует существенное удорожание общей конструкции базовой станции GSM;

– отсутствие полноценной обратной связи. Для экономии потребления энергии объектовые устройства находятся в режиме сна и передают данные, как правило, один раз в сутки. Для поддержания канала связи необходимо делать регулярные запросы сервера либо же использовать статические IP адреса;

– использование сим-карт. Для их качественной и долгой работы необходимо создать определенные эксплуатационные условия – температуру, влажность, загрязнения. Все это необходимо четко контролировать и вовремя обслуживать.

Перспективным вариантом для передачи данных в системах мониторинга являются новые технологии NB-IoT/LTE-M/ EC-GSM.

**Технология LoRaWAN.** Особенностью передаваемых данных являются, как правило, маленькие размеры пакетов данных и передача их на относительно большое расстояние, сохраняя энергетику передающего устройства в условиях длительной работы без подзаряда, смены батареи и без внешнего электропитания. Этим требованиям отвечает оборудование стандарта LPWAN. Данная удаленная система IoT может контролировать потребление энергоресурсов, а также устанавли-

вать двунаправленную связь для воздействия на различные приборы отключения при необходимости.

Сети LoRaWAN структурно состоят из конечных устройств, базовых станций и единого сервера. Передача данных от счетных устройств к серверу происходит через базовые станции по беспроводному каналу с помощью протоколов LoRaWAN. Базовые станции в данном случае работают как ретрансляторы [2].

Датчики не имеют подключения к конкретной базовой станции. Любая рядом стоящая базовая станция может получить пакет данных и передать его на сервер.

В сети LoRaWAN существует несколько типов сообщений. Сообщения называются uplink (если они следуют от оконечного узла к базовой станции) и downlink (если путь следования от базовой станции к оконечному устройству). Есть режим неподтвержденных сообщений и есть режим, когда в одном или в другом направлении после приема сообщения высылаются квитанции и ставится метка о том, что сообщение принято. В этом случае режим называется режим с подтверждением.

Достоинства LoRaWAN:

- низкое энергопотребление, возможность работы от одной батарейки на протяжении многих лет;
- возможность работы на больших расстояниях и в условиях слабого сигнала;
- возможность передачи данных на большие расстояния (в условиях прямой видимости до 850 км) [3].

Что касается безопасности передачи данных или прослушивания передаваемых сообщений, то базовую станцию можно настроить так, чтобы не принимать сообщения от сторонних устройств.

Сами же сообщения зашифрованы двумя уровнями: первый уровень используется для проверки целостности сообщения, второй уровень дешифрует сообщения на уровне приложения.

**Заключение.** Таким образом, стандарт LoRaWAN подходит для сбора информации от счетчиков энергоресурсов в сфере ЖКХ. Данная технология увеличит эффективность информационного взаимодействия в системах мониторинга и передачи данных.

### **Библиографический список**

1. Хильковский К. Б., Пронин Д. Связь GPRS на службе // Журнал CONNECT! Мир Связи, отрасль: Связь и информационные технологии в ЖКХ. – 2011. – № 2. – С. 1–4.

2. Сеть LoRaWAN: описание протокола, его характеристики и применение [Электронный ресурс]. – URL: <https://future2day.ru/set-logawan/> (дата обращения: 02.12.2023).

3. Протокол LPwan в Интернете вещей [Электронный ресурс]. – URL: <https://future2day.ru/protokol-lpwan-v-internete-veshhej/> (дата обращения: 02.12.2023г.)

### **Сведения об авторах**

**Зацепина Ольга Андреевна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ИСУП-22-1м, г. Пермь, e-mail: [zatsepina8@yandex.ru](mailto:zatsepina8@yandex.ru)

**Широков Александр Аркадьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Микропроцессорные системы автоматизации» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [shirokov@pstu.ru](mailto:shirokov@pstu.ru)

**А.Т. Ахметзянова, А.А. Филимонова, Н.Д. Чичирова**

Казанский государственный энергетический университет, Казань

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОТОКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА**

Рассматривается обратный электродиализ как новая технология на основе мембранного электролиза для производства возобновляемой энергии с использованием градиента концентрации растворов. Использование различных направлений потока соленой воды потенциально может повысить производительность обратного электродиализа. Система обратного электродиализа имеет три основных конфигурации: противоток, совместный поток и поперечный поток.

**Ключевые слова:** обратный электродиализ, противоток, совместный поток, поперечный поток, производительность.

**A.T. Akhmetzyanova, A.A. Filimonova, N.D. Chichirova**

Kazan State Energy University, Kazan

## **USING DIFFERENT FLOW DIRECTIONS TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF REVERSE ELECTRODIALYSIS**

This article discusses reverse electro dialysis as a new technology based on membrane electrolysis for the production of renewable energy using a concentration gradient of solutions. The use of different directions of salt water flow can potentially improve the productivity of reverse electro dialysis. The reverse electro dialysis system has three main configurations: counterflow, joint flow and crossflow.

**Keywords:** reverse electro dialysis, counterflow, joint flow, crossflow, productivity.

В большинстве процессов работа с противоточным потоком существенно более эффективна, поскольку она способствует более равномерному движению силы вдоль устройства. В зависимости от скорости потока может быть выгоден режим совместного потока: несколько более высокая плотность мощности, примерно на  $0,05 \text{ Вт/м}^2$ , при режиме совместного потока по сравнению с режимом противотока. Этот эффект вызван меньшей утечкой между отсеками с низкой концентрацией и отсеками с высокой концентрацией из-за низкого локального перепада давления между отсеками во время работы в режиме совместного потока.

В режиме совместного потока потенциал Нернста находится на максимуме вблизи входного отверстия и на минимуме вблизи выходного отверстия; однако проводимость раствора низкой концентрации имеет противоположную тенденцию. Это приводит к переменной плотности мощности вдоль канала потока. Исследование поведения RED, работающего в режиме совместного потока и противотока, используя подход моделирования [1–6]: сравнение двух режимов потока (рисунок) показывает, что локальное изменение плотности мощности вдоль проточного канала выше для режима совместного потока (от  $\sim 0,9$  до  $\sim 0,1$  Вт/м<sup>2</sup>) по сравнению с режимом противотока (от  $\sim 0,6$  до  $\sim 0,3$  Вт/м<sup>2</sup>). При коротком времени пребывания в жидкости разница между совместным потоком и противотоком незначительна. В случае противотока существует вероятность внутренней деформации в трубе из-за разницы давлений в отсеках с низкой концентрацией и с высокой концентрацией, что может привести к увеличению гидродинамических потерь. Конфигурация с параллельным потоком снижает риск утечки в коллекторах и позволяет использовать тонкие мембранные материалы с низким сопротивлением [7]. С другой стороны, противоточный режим повышает энергоэффективность.

Другие конструкции обратного электродиализа (RED) включают в себя сегментированные электроды, то есть электрод, используемый в многослойных блоках [7, 8]. Теоретически, использование сегментированных электродов повышает энергоэффективность RED: тройная сегментация электродов RED (более высокая выходная мощность на 11 % по сравнению с одним электродом) [7]. Если сравнить эффективность извлечения энергии при использовании трех режимов потока как с одной, так и с несколькими парами электродов (сегментация), то энергоэффективность в режиме противотока выше, чем в режиме поперечного потока, тогда как было обнаружено, что режим совместного потока менее эффективен (в 2 раза ниже) [8]. Было оценено, что до 95 % теоретически доступной энергии может быть извлечено в режиме противотока (доля соленой воды 0,13) с использованием одного сегмента электрода. Режим противотока допускает ненулевую локальную электродвижущую силу вдоль каналов потока, поскольку положения выходного потока выравнены противоположно, что позволяет эффективно использовать разницу в солёности.

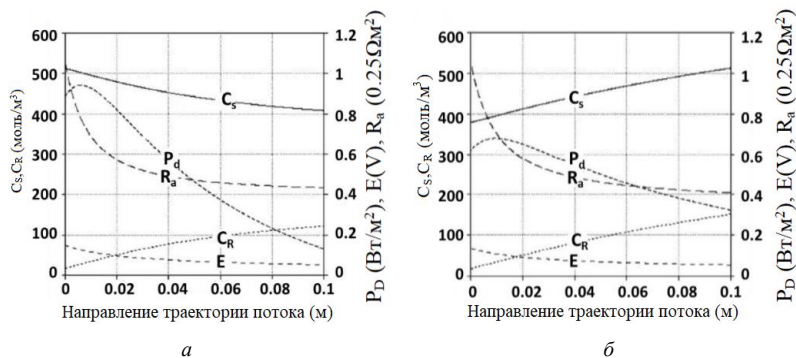


Рис. Модели RED, работающего при: *а* – одновременном питании и *б* – противоточном питании. Мембраны Fumasep,  $10 \times 10$  см, неразделенные электроды, толщина прокладки 200 мкм; время выдержки 60 с. На каждой диаграмме показаны следующие локальные значения: концентрация морской воды ( $C_s$ ), речной воды ( $C_R$ ), плотность мощности ( $P_d$ ), напряжение разомкнутой цепи ( $E$ ), поверхностное сопротивление ( $R_a$ ) [6].

Также была предложена новая конструкция RED, основанная на радиально-осевом подающем потоке [9]. Радиальный поток обеспечивает относительно небольшой приточный коллектор для раствора с отсеками с низкой концентрацией (речной воды), а осевой поток с отсеками с высокой концентрацией (морской воды) в круглых трубах подвержен низкому гидравлическому трению.

Использование природных потоков соленой воды в качестве источника RED привело к положительному получению чистой энергии [10–12], но в меньшей степени по сравнению с растворами NaCl. Отсутствие органических соединений и двухвалентных ионов в природных потоках снижает (в некоторых случаях более чем на 50 %) получаемую мощность из-за перекрывающихся явлений электрохимии и загрязнения [10–15].

### Библиографический список

1. Veerman J., Vermaas D.A. 4 - Reverse electro dialysis: Fundamentals A2 - Cipollina, Andrea. In: Micale G, editor. Sustainable Energy from Salinity Gradients: Woodhead Publishing. – 2016. – P. 77–133.
2. Modelling the Reverse ElectroDialysis process with seawater and concentrated brines / M. Tedesco, A. Cipollina, A. Tamburini, W. van Baak, G. Micale // Desalination and Water Treatment. – 2012. – № 49. – P. 404–24.



3. CFD analysis of the fluid flow behavior in a reverse electro dialysis stack / L. Gurreri, A. Tamburini, A. Cipollina, G. Micale // *Desalination and Water Treatment*. – 2012. – № 48. – P. 390–403.

4. CFD simulation of channels for direct and reverse electro dialysis / A. Tamburini, G. La Barbera, A. Cipollina, M. Ciofalo, G. Micale // *Desalination and Water Treatment*. – 2012. – № 48. – P. 370–89.

5. Hatzell M.C., Logan B.E. Evaluation of flow fields on bubble removal and system performance in an ammonium bicarbonate reverse electro dialysis stack // *Journal of membrane science*. – 2013. – № 446. – P. 449–55.

6. Reverse electro dialysis: A validated process model for design and optimization / J. Veerman, M. Saakes, S.J. Metz, G.J. Harmsen // *Chemical Engineering Journal*. – 2011. – № 166. – P. 256-68.

7. Electrical power from sea and river water by reverse electro dialysis: A first step from the laboratory to a real power plant / J. Veerman, M. Saakes, S.J. Metz, G.J. Harmsen // *Environmental Science and Technology*. – 2010. – № 44. – P. 9207–12.

8. High Efficiency in Energy Generation from Salinity Gradients with Reverse Electro dialysis / D.A. Vermaas, J. Veerman, NY Yip, M. Elimelech, M. Saakes, K. Nijmeijer // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2013. – № 1. – P. 1295–302.

9. Vermaas D.A. Energy generation from mixing salt water and fresh water: Smart flow strategies for reverse electro dialysis // Universiteit Twente, 2014.

10. Towards 1 kW power production in a reverse electro dialysis pilot plant with saline waters and concentrated brines / M. Tedesco, A. Cipollina, A. Tamburini, G. Micale // *Journal of Membrane Science*. – 2017. – № 522. – P. 226–36.

11. Performance of the first reverse electro dialysis pilot plant for power production from saline waters and concentrated brines / M. Tedesco, C. Scalici, D. Vaccari, A. Cipollina, A. Tamburini, G. Micale // *Journal of Membrane Science*. – 2016. – № 500. – P. 33–45.

12. Prediction of reverse electro dialysis performance by inclusion of 2D fluorescence spectroscopy data into multivariate statistical models / S. Pawlowski, C.F. Galinha, J.G. Crespo, S. Velizarov // *Separation and Purification Technology*. – 2015. – № 150. – P. 159–69.

13. Fouling in reverse electro dialysis under natural conditions // *Water Research*. – 2013. – № 47. – P. 1289–98.

14. Periodic Feedwater Reversal and Air Sparging As Antifouling Strategies in Reverse Electrodialysis / D.A. Vermaas, D. Kunteng, J. Veerman, M. Saakes, K. Nijmeijer // Environmental Science & Technology. – 2014. – № 48. – P. 3065–73.

15. 2D fluorescence spectroscopy for monitoring ion-exchange membrane based technologies – Reverse electrodialysis (RED) / S. Pawlowski, C.F. Galinha, J.G. Crespo, S. Velizarov // Water Research. – 2016. – № 88. – P. 184–98.

### **Сведения об авторах**

**Ахметзянова Айгуль Тагировна** – аспирант кафедры «Атомные и тепловые электрические станции» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, e-mail: 19aigulkgeu@gmail.com

**Филимонова Антонина Андреевна** – доктор технических наук, доцент кафедры «Химия и водородная энергетика» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, e-mail: khimiya\_kgeu@mail.ru

**Чичирова Наталия Дмитриевна** – научный руководитель, доктор технических наук, профессор кафедры «Атомные и тепловые электрические станции» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, e-mail: ndchichirova@mail.ru

**И.Ю. Сажин**

Юго-Восточный Нанкинский университет, Нанкин

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

Основной целью статьи является реализация модели синхронного двигателя с различными видами пуска с учетом характеристик, приближенным к реальным. Произвести анализ пусковых характеристик синхронных двигателей с различными источниками питания. Для исследования пусковых характеристик синхронного двигателя от различных источников питания создана в том числе математическая модель синхронного двигателя источника питания. Математическая модель, созданная в среде Simulink пакета MatLab, способна полностью воспроизводить свойства и характеристики реальной системы. Расчеты проводились в относительных единицах, в частности, были смоделированы прямой пуск и асинхронный пуск с помощью частотного преобразователя и получены соответствующие характеристики.

**Ключевые слова:** электрические машины, возбуждение синхронных машин, анализ пуска синхронного двигателя, модель синхронного двигателя, возбуждение, электромагнитное возбуждение.

**I.Yu. Sazhin**

Southeastern Nanjing University, Nanjing

## **INVESTIGATION OF STARTING CHARACTERISTICS OF SYNCHRONOUS MOTOR WITH ELECTROMAGNETIC EXCITATION FROM DIFFERENT POWER SOURCES**

The main purpose of the article is to realize the model of synchronous motor with different types of starting with consideration of characteristics approximated to real ones. Analyze the starting characteristics of synchronous motor with different power sources. To study the starting characteristics of synchronous motor from different power sources created including a mathematical model of synchronous motor power sources. The mathematical model created in the Simulink environment of MatLab package is able to fully reproduce the properties and characteristics of the real system. Calculations were carried out in relative units, in particular, direct start and asynchronous start with the help of frequency converter were modeled and the corresponding characteristics were obtained.

**Keywords:** electrical machines, synchronic machines extension, synchronic motor start analysis, synchronic motor model, extension, electromagnetic extension.

**Прямой пуск.** Ниже на рис. 1 представлена модель синхронного двигателя, который запитан от сети [1].

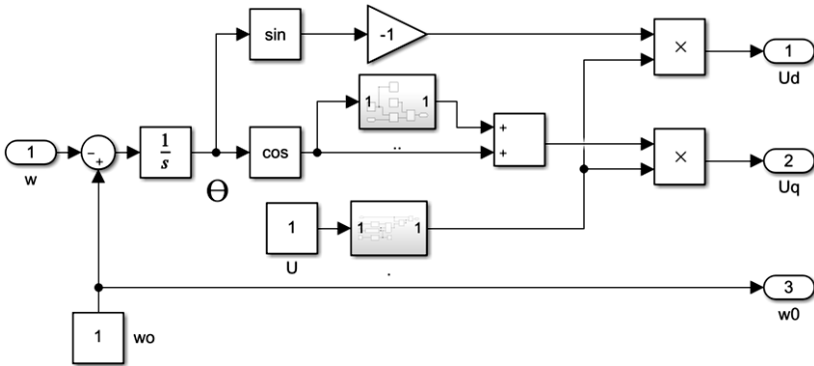


Рис. 1. Реализации модели источника питания от сети

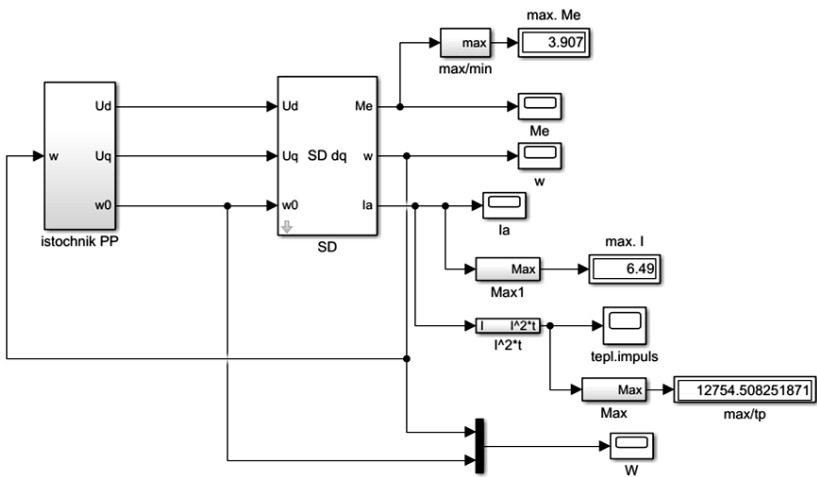


Рис. 2. Реализация блочной схемы синхронного двигателя, питающегося от сети

На рис. 2 представлена блочная схема синхронного двигателя, питающегося от общей сети. Также представлены основные характеристики, которые будут сравниваться в ходе исследования. Ниже на рис. 3 представлен электромагнитный момент.

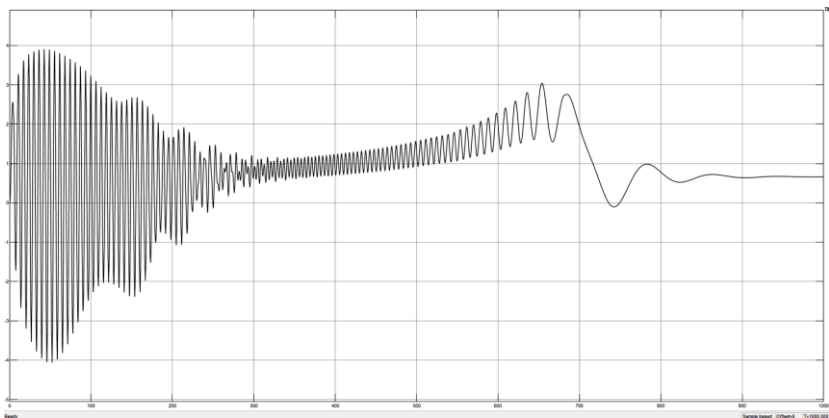


Рис. 3. Электромагнитный момент при прямом пуске

На рис. 3 видно, что переходный процесс занял порядка 630 относительных единиц (около 2 с).

Также видно, что электромагнитный момент сопровождается большим знакопеременным процессом. Ниже представлен рис. 4 – скорости вращения ротора и скорости вращения магнитного поля статора.

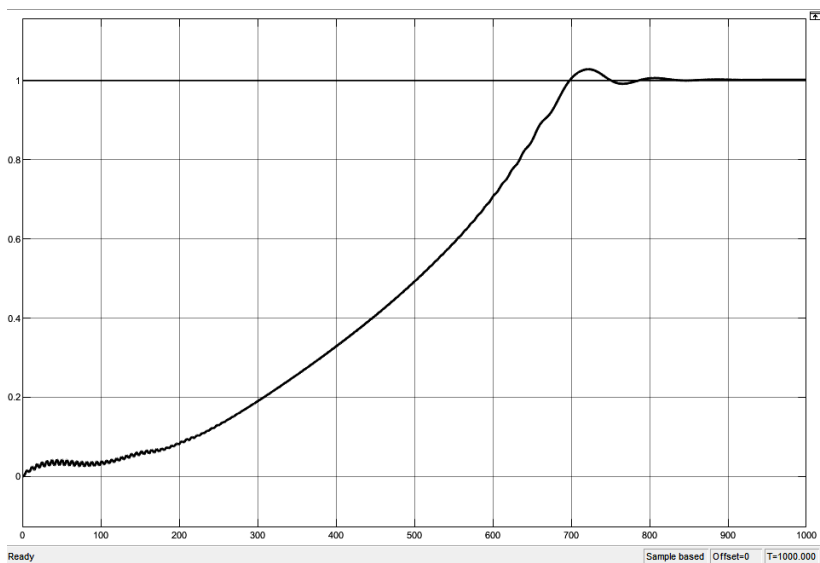


Рис. 4. Скорость вращения полей ротора и статора

На рис. 4 показано, как растет скорость вращения ротора и он входит в синхронизм с магнитным полем статора.

На рис. 5 представлен модуль тока фазы. Во время прямого пуска очень большие пусковые токи. Отсюда следует, что высокие тепловые потери. Этот график подтверждает, что увеличение теплового импульса приводит к увеличению потерь, что соответствует теоретическим предположениям.

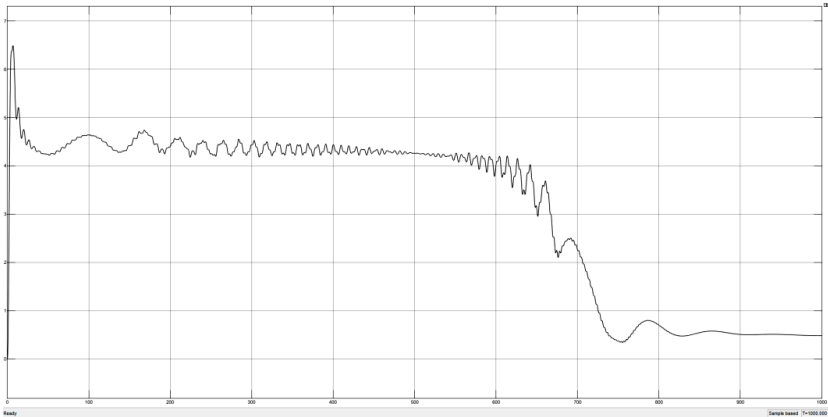


Рис. 5. Изменение модуля тока фазы

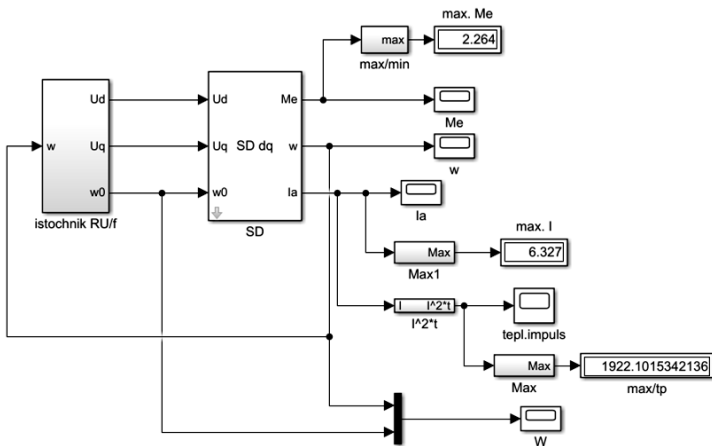


Рис. 6. Реализация блочной схемы синхронного двигателя, питающегося от частотного преобразователя

На рис. 5 представлено изменение тока. Из представленного графика можно сделать вывод, что во время пуска ток достигал значительных значений, достигая пика в 6,49 о.е. однако после того, как ротор вошел в синхронизм с магнитным полем статора, рабочий ток снизился до значения менее 1 о.е.

**Пуск от преобразователя частоты.** Частотный пуск синхронного двигателя осуществляется с помощью частотных преобразователей, которые понижают частоту питающего напряжения на обмотках двигателя (рис. 6). Это позволяет уменьшить скорость вращения магнитного поля синхронного двигателя [2].

На рис. 7 показан график изменения скорости ротора и статора.

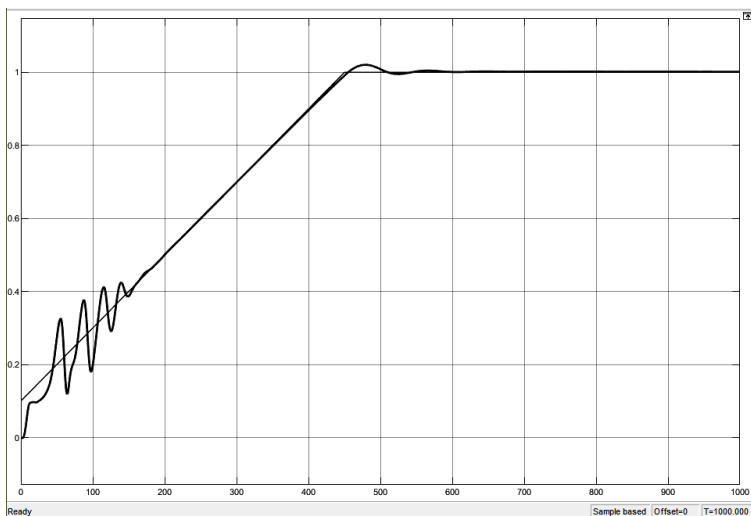


Рис. 7. График изменения скорости ротора и статора в источнике питания

В данной ситуации синхронизация происходит непосредственно во время самого пуска. Это наглядно подтверждено на графике выше.

Ниже представлен график модуля полного тока фазы статора.

На рис. 8 представлен график скорости ротора при асинхронном частотном пуске.

На представленном графике наглядно видно, как ротор синхронного двигателя синхронизируется с магнитным полем статора. Про-

цесс синхронизации начинается немного позже, чем достижение номинальной скорости вращения.

График демонстрирует изменение рабочего тока обмотки во время асинхронного пуска.

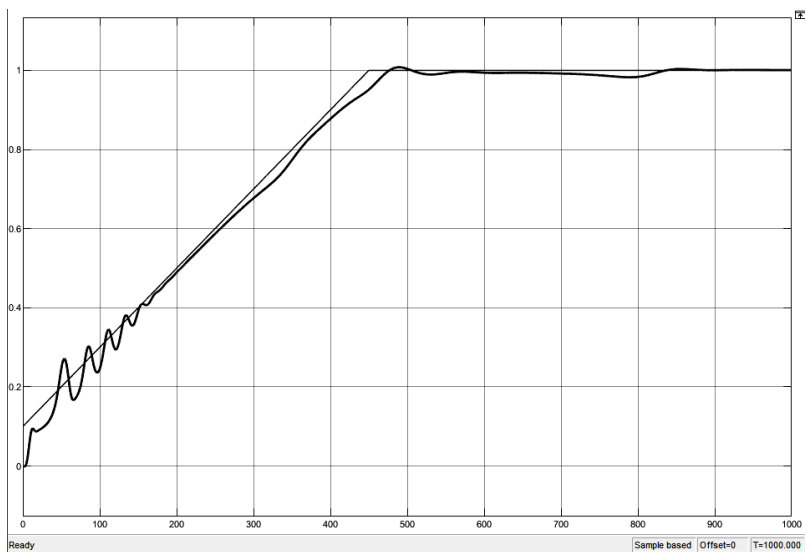


Рис. 8. График изменения скорости ротора при асинхронном частотном пуске

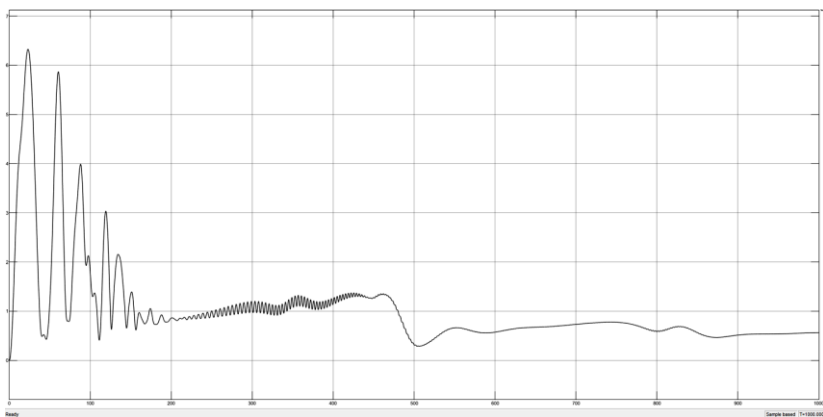


Рис. 9. Токи рабочей обмотки при асинхронном пуске



Во время пуска ток достигает следующего значения: 6,327 в относительных единицах.

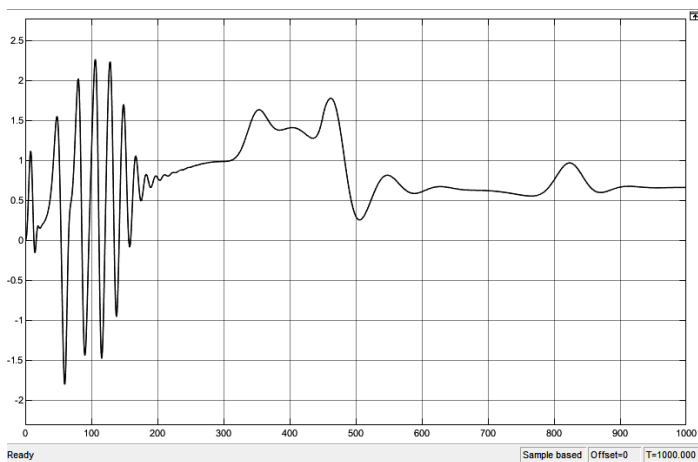


Рис. 10. Электромагнитный момент при асинхронном пуске

На рис. 10 можно заметить, что электромагнитный момент имеет очень большой разброс знакопеременного процесса. Такая ситуация обусловлена применением асинхронного пуска, в результате которого ротор не синхронизируется с движущимся магнитным полем статора. Отрицательные значения на графике связаны с инерцией ротора, который не мгновенно реагирует на изменения поля.

### Библиографический список

1. Шулаков Н.В. Электрические машины: конспект лекций. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. – 324 с.
2. Буторин Г.В., Ключников А.Т., Чабанов Е.А Исследование режимов пуска синхронного двигателя при пониженной частоте // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 31. – С. 159–176.

### Сведения об авторе

**Сажин Илья Юрьевич** – студент Юго-Восточного Нанкинского университета, г. Нанкин, e-mail: ilsazhin@yandex.ru

**К.А. Конев<sup>1,2</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь  
<sup>2</sup>ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ, Пермь

## **ПЕРСПЕКТИВНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНА ПРИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ**

На данный момент существует проблема роста установленной электрической мощности, что, в свою очередь, требует увеличения отпускаемой мощности потребителям. Чтобы увеличить мощность на подстанциях, как правило, заменяют существующие трансформаторы трансформаторами большей мощности. Если же дополнительная нагрузка велика, то прибегают к строительству новых подстанций. Проблема с каждым годом становится все более актуальной не только в России, но и во всем мире. Решить проблему поможет создание перспективной схемы электроснабжения района для обеспечения потребителей бесперебойной и недорогой электроэнергией высокого качества. В данной статье рассматривается возможность использования автономного энергетического комплекса, приведены формулы для дальнейшего расчета при подборе оборудования и расчета потребления.

**Ключевые слова:** трансформатор, система внутреннего электроснабжения, автономный энергетический комплекс, потребитель, генератор.

**K.A. Konev<sup>1,2</sup>, E.A. Chabanov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm  
<sup>2</sup>LUKOIL-PERM, Perm

## **PERSPECTIVE POWER SUPPLY SCHEME OF THE DISTRICT UNDER DECENTRALISED MANAGEMENT**

At the moment, there is a problem of growth of installed electric capacity, which in turn requires an increase in the power supplied to consumers. In order to increase the capacity of substations, as a rule, existing transformers are replaced with higher capacity transformers. If the additional load is large, the construction of new substations is resorted to. The problem is becoming more and more urgent every year not only in Russia, but all over the world. To solve the problem will help to create a perspective scheme of power supply of the district using microgrid technology to provide consumers with uninterrupted and inexpensive electricity of high quality. This article considers the possibility of using an autonomous energy complex.

**Keywords:** transformer, internal power supply system, compensating device, wire, autonomous power complex, consumer, generator.

В России у потребителей электроэнергии появился новый способ выхода из энергосистемы. Потребители могут объединяться в активный энергетический комплекс (АЭК) с собственной генерацией и сетевой инфраструктурой. Основной плюс АЭК – существенная экономия расходов на энергоснабжение при сохранении связи с внешней энергосистемой, создание локальных микроэнергосистем промышленных и коммерческих потребителей.

Первыми признаками появления АЭК стали рост цен электроснабжения предприятий и развитие распределенной генерации цифровых технологий, что упростило современное управление энергообъектами. Энергия, получаемая от микрогрид, может снизить расходы промышленных потребителей электроснабжения на 5–25 % по сравнению с потреблением только из централизованной энергосистемы.

Актуальность концепции АЭК основывается на переходе систем управления в электроэнергетике на цифровые решения, которые позволяют создавать новую архитектуру электроэнергетических систем, отвечающую всем требованиям надёжности и экономичности.

Создание автономного энергетического комплекса позволит обеспечить потребителей системы собственными источниками генерации энергии и взять на себя задачу удовлетворения спроса потребителей при пиковых нагрузках, тем самым разгружая ЕЭС.

Установленная мощность электростанции в АЭК – до 25 МВт. В отношении сетевых объектов, расположенных внутри АЭК, не утверждаются тарифы на оказание услуг на передачу.

Суммарная мощность потребителей, используемых в данной статье, не превышает установленного ограничения в 25 МВт, и, отталкиваясь от остальных требований, выбрали следующих потребителей для проектируемого активного энергетического комплекса:

- ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» ЦДНГ-9;
- Колхоз «Первое Мая»;
- д. Гаревая;
- Сельхозпредприятие ООО «Нива»;
- д. Большой Букор.

Суммарная мощность равна  $5,5 < 25$  МВт. Предлагаемая архитектура АЭК представлена на рис. 1, 2.

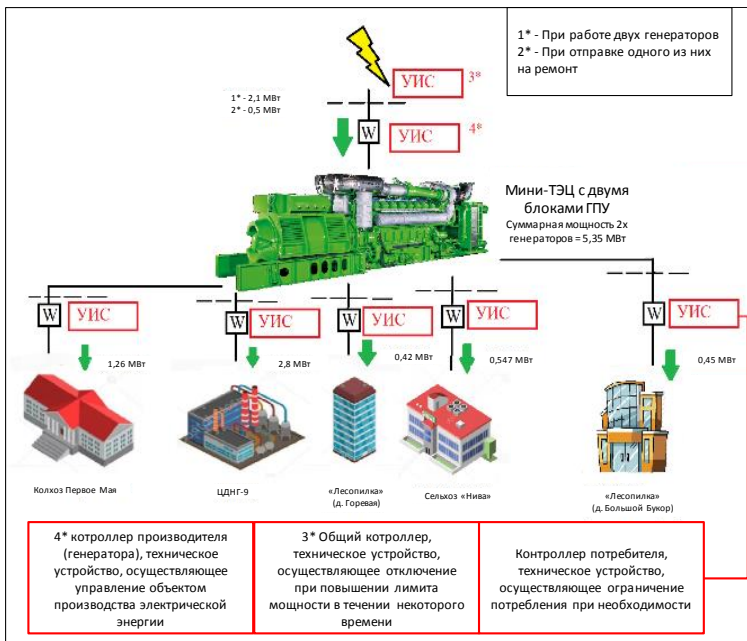


Рис. 1. Упрощенная архитектура АЭК



Рис. 2. Архитектура АЭК

В ходе работы АЭК предложен в двух вариантах, были выбраны газотурбинная установка и газопоршневая установка, и было проведено сравнение по следующим критериям: долговечность и ремонтпригодность, экономичность, экологичность. Результат сравнения приведен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнения вариантов АЭК

Варианты АЭК	Установка двух ГПУ с дизельным генератором	Установка двух ГТУ с дизельным генератором
Долговечность и ремонтпригодность	Допускают частые пуски. Ресурс до капремонта 40000–60000 рабочих моточасов. Капремонт на месте установки с меньшими затратами	Предпочтительнее использовать для непрерывной работы. Ресурс до капремонта 20000–30000 рабочих моточасов. Цена капремонта составляет 30–50 % от начальных вложений
Экономичность	Электрический КПД 40–44 % Цена: 33 000 000 руб.	Электрический КПД 23–33% Цена: 14 000 000 руб.
Экологичность	Уровень вредных выбросов в атмосферу чуть больший	Выбросы окислов CO <sub>2</sub> и азота меньше и обладают большей рассеивающей способностью. Более высокий уровень шума (в пределах 50–80 дБ)

Из табл. 1 видно, что более экономичной и выгодной является газопоршневая установка с дизельным генератором [1]. Далее же после выбора агрегатов АЭК для непрерывной работы проведем расчет нагрузки.

Расчет суммарной электрической нагрузки района необходим для решения вопросов о величине номинального напряжения электрической сети, целесообразности сооружения узловой подстанции и многих других, возникающих на стадии проектирования. Расчетные активная  $P_p$  и реактивная  $Q_p$  нагрузки определяются по формулам [2–4]:

$$P_p = K_{y,m} P_M + \Delta P, \quad (1)$$

$$Q_p = K'_{y,m} Q_M + \Delta Q, \quad (2)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (3)$$

где  $P_M, Q_M$  – суммарные активная и реактивная нагрузки района, вычисляемые как сумма максимальных нагрузок  $i$ -х узлов:

$$P_M = \sum_{i=1}^n P_{Mi}, \quad (4)$$

$$Q_M = \sum_{i=1}^n Q_{Mi}, \quad (5)$$

где  $K_{y,m}, K'_{y,m}$  – коэффициенты участия в максимуме активных и реактивных нагрузок,  $\Delta P, \Delta Q$  – потери активной и реактивной мощности в элементах сети.

Поскольку линии и трансформаторы будущей сети еще не выбраны, потери мощности определяются по эмпирическим формулам в долях от полной максимальной нагрузки района  $S_M$ :

$$\Delta P = \Delta P_{л} + \Delta P_{тр}, \quad (6)$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{л} + \Delta Q_{тр}, \quad (7)$$

а сама максимальная нагрузка составляет:

$$S_M = \sqrt{(\sum_{i=1}^n P_{Mi})^2 + (\sum_{i=1}^n Q_{Mi})^2}. \quad (8)$$

Расчет натуральных показателей при выборе вариантов схем электроснабжения приведен в табл. 2.

Таблица 2

#### Натуральные показатели сравниваемых вариантов

Вариант	$l_{\Sigma}$ , км	$n_v$ , шт.	$l_{\text{экв}}$ , км	$l_{\Sigma}$ , км
Кольцо	28,37	6	18	46,370
Магистраль с отпайками	14,736	1	3	17,736
Радиальные	37,268	4	12	49,268
Магистралы	19,375	2	6	25,375

На основе анализа полученных данных выбрали 2 варианта электроснабжения – кольцо и магистраль с отпайками с наибольшим и наименьшим значением  $L_{\Sigma}$  для наиболее видимой разницы между вариантами.

**Заключение.** В ходе анализа была предложена современная сеть электроснабжения, удовлетворяющая актуальным требованиям проектирования, с использованием децентрализованного управления.

В качестве собственного источника энергии выбран газопоршневой генератор, его выбор обусловлен тем, что он способен сгенерировать достаточное количество электроэнергии, и он полностью себя окупит в течение нескольких лет.

Данный проект способен оптимизировать затраты на электроэнергию, повысить эффективность и улучшить обслуживание потребителей, повысить надежность энергоресурсов, развить малую электроэнергетическую сеть России.

### **Библиографический список**

1. Кретов Д.А., Костюков В.Д. Разработка методики расчета срока окупаемости собственного источника питания промышленного предприятия на основе газопоршневой установки // *Фундаментальные исследования*. – 2019. – № 8. – С. 42–46.

2. Электрические системы и сети / Н.В. Буслова, В.Н. Винославский, Г.И. Денисенко, В.С. Перхач. – Киев: Вища школа. Головное издательство, 1986. – 584 с.

3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

4. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.

### **Сведения об авторах**

**Конев Константин Андреевич** – аспирант кафедры «Электро-техника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; ведущий инженер-энергетик ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», г. Пермь, e-mail: looking\_99@mail.ru

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

**И.А. Белов, Е.А. Чабанов, И.Р. Зиятдинов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Рассмотрены современные проблемы электроэнергетики. Изложены проблемы дефицита энергетических ресурсов, загрязнения окружающей среды, несбалансированного распределения энергоресурсов. Рассмотрено производство дополнительных и альтернативных ресурсов как вариант замещения используемых энергетических ресурсов, использование искусственного интеллекта в энергетике.

**Ключевые слова:** энергетика, энергоресурсы, энергозамещение, энергосбережение.

**I.A. Belov, E.A. Chabanov, I.R. Ziyatdinov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **MODERN ELECTRIC POWER INDUSTRY PROBLEM AND THEIR SOLUTIONS**

This article discusses the current problems of the electric power industry. The problems of shortage of energy resources, environmental pollution, unbalanced distribution of energy resources are outlined. The production of additional and alternative resources as a variant of substitution of used energy resources, the use of artificial intelligence in the energy sector is considered.

**Keywords:** energy, energy resources, energy substitution, energy saving.

Энергетика – область хозяйственно-экономической деятельности, науки и техники, охватывающая энергетические ресурсы, производство, передачу, преобразование, аккумулирование и распределение различных видов энергии. Потребление энергии является важным положением в жизни человека, за счет нее он может повысить качество жизни, за счет нее развивается вся человеческая цивилизация: открытие новых источников энергии, новые методы получения и потребления энергии, энергосбережение.



В современном обществе энергетика является основой развития промышленности и всего технического прогресса. Но способы получения энергии часто ухудшают экологию и плохо влияют на самого человека. За счет бесконтрольной выработки угля, нефти и газа изменяется ландшафт литосферы, сбрасывается загрязненная вода в гидросферу, происходят выбросы газа и твердых частиц в атмосферу [1–3].

Требуются новые системы управления предприятиями для решения всех этих проблем, также в условиях кризиса может нарушиться управление корпораций, что приведет к нарушению работы систем и большим финансовым потерям.

В электроэнергетике можно выделить три сложности, которые оказывают большое влияние на цивилизацию и общество:

1. Нарушение и истощение природы.
2. Социальные опасности и геополитические угрозы.
3. Дефицит энергоресурсов.

Первая проблема относится к загрязнению природы. Влияние энергетики на окружающую среду следующее:

1. Загрязняется атмосфера, гидросфера и литосфера.
2. Захоронения радиоактивных отходов.
3. Изменение скорости течения рек, уровня воды, расход воды, затопление из-за ГЭС.
4. Возникают погодные аномалии, так как повышается температура.

Вторая проблема происходит из-за неравномерного разделения энергоресурсов на Земле. Энергетический цикл обеспечивает производство, то есть спрос, всем необходимым. Важной ролью в развитии национального и мирового хозяйства является наличие стабильного доступа к энергетическим ресурсам. В большинстве случаев чем больше страна потребляет ресурсы, тем больше страна экономически развита. Многие страны испытывают нехватку энергии, так как не имеют источников энергии, в результате чего получают:

- 1) насилие;
- 2) неконтролируемую миграцию населения;
- 3) ухудшение условий жизни.

Многие развитые страны перенесли производства в страны с более дешевой рабочей силой, имеющие доступ к источникам энергоресурсов, тем самым снизив долю нерентабельного производства полуфабрикатов. Это позволило развивающимся странам освоить и внед-

речь новые методы производства в деятельность национальных компаний. Анализируя проблему большого потребления энергии, стоит отметить, что должна быть решена проблема стабилизации численности населения в некоторых странах.

Третья проблема – самая опасная, она касается нехватки энерго-ресурсов. Более 85 процентов полезных ископаемых тратится на получение электроэнергии, большинство этих ресурсов являются невозобновляемыми. Чтобы решить данную проблему, то есть создать стабильное поступление энергии и сохранить ресурсы, следует: найти или разработать новые энергоресурсы; увеличить эффективность потребления энергии; использовать новые технологии в АЭС, ГЭС, ТЭЦ, в электротехнических процессах передачи электроэнергии и распределительных устройств.

Для все более возрастающих потребностей человечества в ресурсах следует использовать альтернативные и вспомогательных ресурсы.

В основе альтернативной энергетики исследование и получение источников энергии, которые заменят традиционные источники (нефть, газ, уголь), из-за которых происходит загрязнение атмосферы. За счет уменьшения потерь можно уменьшить выбросы. Из этого следует, что нужно акцентировать на энергосбережении. Основой энергосбережения является увеличение эффективности работы с энергетическими ресурсами на всех этапах.

Одной из перспективных технологий также является искусственный интеллект. Уже сейчас он используется в электроэнергетике и решает такие задачи:

1. Регулирование электрических сетей.

За счет этого можно удаленно управлять, прогнозировать и контролировать потребление электроэнергии. Полностью предотвратить выход из строя энергосистемы.

2. Увеличить эффективность потребления электрической энергии.

ИИ работает с большим объемом данных и способен оптимизировать процесс, то есть найти наилучшие характеристики и условия работы

с электрической энергией.

3. Наблюдение и проверка технического состояния оборудования.

Эта технология позволяет прогнозировать сбои в оборудовании, осуществлять мониторинг в реальном времени, вследствие этого

уменьшает или полностью исключает аварийные ситуации, простои всей системы, уменьшает затраты на обслуживание и ремонт.

### **Библиографический список**

1. Мананков А.В. Геоэкология. Методы оценки загрязнения окружающей среды: учебник и практикум для акад. бакалавриата. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 209 с.

2. Ушаков В.Я. Возобновляемая и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды: монография. – Томск: СибГрафик, 2011. – 138 с.

3. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении...». – М., 2009.

### **Сведения об авторах**

**Белов Илья Анатольевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЭЭ-20-4Б, г. Пермь, e-mail: gb.ilya@mail.ru

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: searb@mail.ru

**Зиятдинов Илья Рудольфович** – старший преподаватель кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: i.ziyatdinoff@mail.ru

**П.В. Лыкасов, Б.М. Кушнин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ЦЕЛЮ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА**

Рассматривается введение в эксплуатацию беспилотных летательных аппаратов, целью которых является мониторинг электроэнергетических систем и сетей. Преимущества их применения с точки зрения безопасности, эффективности и экономической выгоды.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, летательный аппарат, визуальный контроль, аэрофотосъемка, электроэнергетический объект, мультиторный.

**P.V. Lykasov, B.M. Kushnin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **ANALYSIS OF THE APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR THE PURPOSE OF MONITORING THE POWER GRID**

This article discusses the commissioning of unmanned aerial vehicles in order to monitor electric power systems and networks. The advantages of their use in terms of safety, efficiency and economic benefits.

**Keywords:** power line, aircraft, visual control, aerial photography, electric power facility, multi-torque.

Одним из ключевых методов 21 века осмотра бесперебойной работы линий электропередачи (далее ЛЭП) является беспилотное зондирование, суть которого заключается в использовании беспилотного летательного аппарата (далее БПЛА). Основным преимуществом данного метода является исследование всей длины ЛЭП с разных ракурсов без применения человеческих ресурсов (табл. 1). При данном методе диагностик линий электропередач отпадает необходимость отключения подачи напряжения в линии. Этот метод сбора информации обладает высокой эффективностью и точностью представления пространственных данных о состоянии линий электропередачи (далее

ЛЭП) в электронном формате. Он также позволяет исключить субъективные ошибки при сборе и передаче данных [1].

Большинство крупных российских компаний, таких как ФСК ЕЭС, ПАО «Россети» и др., в качестве оценки состояния ЛЭП и электростанций применяют беспилотники, то есть дроны. К примеру, по состоянию на 2019 г., «Сибирская генерирующая компания» произвела исследование 550 км электротрасс при помощи БПЛА с тепловизионным оборудованием на наличие неисправностей [2]. А с 2021 г. ПАО «Россети» ввело в эксплуатацию БПЛА в Липецкой области для мониторинга ЛЭП [3].

Таблица 1

Сравнение качественных показателей мониторинга ЛЭП

Наименование показателя	Традиционный метод	Метод дистанционного зондирования
Наличие человеческого труда на участке с опасными и вредными производственными факторами	Да	Нет
Необходимость применения крупногабаритной техники для проведения мониторинговых работ	Да	Нет
Работы на высоте более 5 м (при наличии 3-й группы безопасности)	Да	Нет

При помощи функции автоматического режима, БПЛА делает аэрофотосъемку ЛЭП и прилегающей охраняемой территории. Суть данного эффекта основывается на использовании двух изображений одного и того же пространства, которые формируются на основании данных, полученных с помощью фотосъемки [4].

При фиксировании из двух точек, находящихся на определенном расстоянии друг от друга, можно получить объемное, стереоскопическое изображение. Для получения желаемого эффекта объект фотографируется дважды с двух разных точек пространства. Эти два фотографических снимка, содержащие один и тот же участок объекта, формируют стереопару. Анализ фотосъемки данных стереопар фотоснимков ЛЭП, земной поверхности или других объектов проводится измерение или обработка данных. Полученные данные аэрофотосъемки

загружают в ПО (программное обеспечение), которая, в последующем, выдаёт ортофотоплан [4].

Существует два вида обследований ЛЭП с применением БПЛА. В табл. 2 и на рис. 1 представлены наименования и краткие характеристики видов контроля ЛЭП.

Таблица 2

Виды контроля ЛЭП с применением беспилотных летательных аппаратов

Контроль	Характеристика
Тепловизионный	Применении БПЛА с использованием инфракрасного теплового излучения. Данная технология позволяет отслеживать перегревающиеся участки ЛЭП
Визуальный	Позволяет значительно быстрее и безопаснее отлеживать аварийные и дефектные участки ЛЭП



Рис. 1. Виды контроля ЛЭП: *а* – визуальный контроль; *б* – тепловизионный контроль

Данный метод значительно сокращает время исследования воздушных линий электропередач. Так, например, швейцарской компании Alpiq EnerTrans за 3 дня удалось произвести инспекцию 65 вышек, в то время как традиционным методом они бы сделали это за 5 дней [5]. Экономия рабочего времени в данном случае составляет 40 %.

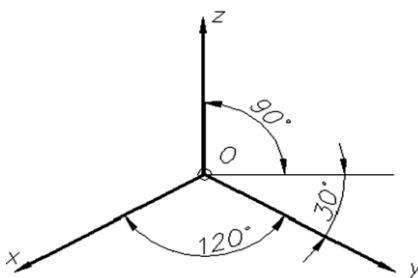
Также стоит отметить, что фотосъёмка ведётся не только на цифровую камеру. Существуют следующие виды аппаратуры, которой можно оснастить квадрокоптер: камеры с инфракрасным диапазоном;

камеры с ультрафиолетовым диапазоном; камеры с фиксацией облака точек лазерных отражений. Центр масс БПЛА является началом системы координат (далее СК) квадрокоптера. Линейные и угловые скорости квадрокоптера представлены системой

$$V_Q = \begin{bmatrix} V_{xQ} \\ V_{yQ} \\ V_{zQ} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $V_{xQ}$  – линейная угловая скорость относительно оси  $OX$ ,  $V_{yQ}$  – линейная угловая скорость относительно оси  $OY$ ,  $V_{zQ}$  – линейная угловая скорость относительно оси  $OZ$  [6].

При описании ориентации БПЛА в пространстве используется неподвижная СК и углы Эйлера, которые изображены на рис. 2, а.



а



б

Рис. 2. Система трехмерного пространства координат (а); Модель квадрокоптера со связанной системой координат (б)

Матрица поворота, применяемая для преобразования координат из подвижной СК в неподвижную ( $R$ ), представляет собой последовательное умножение матриц перехода для каждой координаты (см. рис. 2, б). Однако следует учесть, что этот метод имеет свою особенность, которая может стать его недостатком – если изменить последовательность вращения квадрокоптера в пространстве (сначала по оси  $X$ , а затем по оси  $Z$ ), то БПЛА окажется в совершенно другом конечном положении. Поэтому использование данного метода требует строгого соблюдения выбранной изначальной последовательности вращения вдоль координатных осей [6].

В выражении (2) представлена связь между линейными скоростями в неподвижной и связанной с БПЛА СК.

$$\dot{\xi} = R \cdot V_Q, \quad (2)$$

где  $R$  – коэффициент преобразования в неподвижную систему координат.

На рис. 3 представлена структура базовой системы управления БПЛА [6].



Рис. 3. Структура базовой системы управления

В табл. 3 представлены основные БПЛА, которые используются в России для мониторинга электрических сетей [7].

Таблица 3

### Основные характеристики БПЛА

Тип БПЛА	Модель БПЛА	Протяжённость маршрута, км	Время полёта, ч	Стоимость, млн руб.
Самолётный, малого радиуса действия	Геоскан 101	60	До 1,5	1,37
Самолётный, среднего радиуса действия	Альбатрос М1	100	До 1,5	1–1,5
Самолётный, большого радиуса действия	Альбатрос Griffion	200	2,5	2,5–3
	Альбатрос М5	300	4,5	1,9–2,5
Мультироторный	Альбатрос Д1, Альбатрос Skytle	10	1–1,33	1–2



В табл. 4 сравниваются затрачиваемые средства при обследовании ЛЭП наземным методом и с использованием БПЛА [7].

Таблица 4

Сравнение затрачиваемых средств при обследовании ЛЭП наземным методом и с использованием БПЛА Альбатрос Д1

Параметры исследования	Наземный метод	Альбатрос Д1
Количество исполнителей	3	2
Количество рабочего времени, день	8	5
Средняя заработная плата:		
– сотрудника руб./месяц,	40 000	55 000
– бригады руб./день	3999	3667
Стоимость БПЛА, руб.	–	1 500 000
Средняя скорость обследования ЛЭП:		
– км/ч,	2	72
– км/день	16	360
Зарплата бригады за обследование 1 км ЛЭП	249,94	10,19

Проанализировав результаты, представленные в табл. 4, можно сделать вывод о том, что стоимость обследования ЛЭП с помощью использования БПЛА снижается в несколько раз, а также сокращается время мониторинга данного объекта электроэнергетики. Также стоит отметить, что развитие технологии применения БПЛА не стоит на месте. Сотрудники Тюменского высшего военно-инженерного командного училища имени маршала инженерных войск Прошлякова Минобороны РФ воспроизвели проект дрона, способствующего производить самозарядку аккумулятора от ЛЭП. Данная способность является улучшением полётных характеристик малых беспилотников [8].

БПЛА будет иметь несколько несущих винтов. В его нижней части будет размещен специальный разъединяемый кольцевой магнитопровод, так называемые токовые клещи. Благодаря этим клещам, дрон будет способен удерживаться на линиях электропередач и использовать их для зарядки своего аккумулятора [8].

Механизм функционирования данного устройства состоит в том, что оператор БПЛА устанавливает его текущие клеммы на электрическую передающую линию и инициирует процесс замыкания с помощью специальной команды (рис. 4).



Рис. 4. Процесс подзарядки БПЛА от воздушной ЛЭП

В процессе этого действия происходит его подзарядка. Ключевая особенность данного БПЛА будет заключаться в том, что у него сохраняется возможность вести мониторинг исследуемого объекта, поворачивая установленную на нём камеру в нужную сторону.

### **Библиографический список**

1. Макаренко Г.К., Швецов О.В., Солдатенко А.В. Использование данных дистанционного зондирования Земли при исследовании и прогнозировании состояния объектов электроэнергетики // Сб. науч.-техн. ст. сотрудников группы компаний «Россети». – 2018. – Вып. II. – С. 1–14.

2. Обследование ВЛ с БПЛА и другие методы контроля и поиска повреждений на воздушных линиях [Электронный ресурс]. – URL: <https://test-energy.ru/obsledovanie-vl-s-bpla/> (дата обращения: 01.09.2023).

3. Геоинформационные системы и аэрокосмический мониторинг. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sovzond.ru/press-center/news/bpla/7697/> (дата обращения: 02.09.2023).

4. Зеленков В.В. Применение методов дистанционного зондирования при планировании, эксплуатации и реконструкции теплотрасс и ЛЭП // Естественные и технические науки. – 2012. – № 3. – С. 510–514.

5. Устранение неполадок на линиях электропередачи с помощью дронов [Электронный ресурс]. – URL: <https://ustranenie-nepoladok-na-liniyakh-elektroperedachi-s-pomoshchyu-dronov/> (дата обращения: 04.09.2023).

6. Попов Н.И., Емельянова О.В., Яцун С.Ф. Моделирование динамики квадрокоптера. – 2014.

7. Возможности применения беспилотных авиационных систем для мониторинга воздушных систем [Электронный ресурс]. – URL: <https://vozmozhnosti-primeneniya-bespilotnykh-sistem> (дата обращения: 05.09.2023).

8. Российские беспилотники научат заряжаться от ЛЭП [Электронный ресурс]. – URL: [https://rossiyskie\\_bespilotniki\\_nauchat\\_zaryazhatsya\\_ot\\_lyep](https://rossiyskie_bespilotniki_nauchat_zaryazhatsya_ot_lyep) (дата обращения: 09.09.2023).

### Сведение об авторах

**Лыкасов Павел Владимирович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ЦЭКП-22-1м, г. Пермь, e-mail: [lykasov.pavel@mail.ru](mailto:lykasov.pavel@mail.ru)

**Кушнин Богдан Максимович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КПИ-22-1м, г. Пермь, e-mail: [bodyanych96@mail.ru](mailto:bodyanych96@mail.ru)

**И.А. Мальцев<sup>1,2</sup>, А.И. Поливина<sup>3</sup>,  
Е.А. Чабанов<sup>1</sup>, А.С. Литвин<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

<sup>2</sup>Пермская научно-производственная  
приборостроительная компания, Пермь

<sup>3</sup>НПО «ПермНефтеГаз», Пермь

<sup>4</sup>Компания «СТС», Пермь

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОГРУЖНОГО НАСОСА ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ПРИВОДА С АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ВЕНТИЛЬНЫЙ**

Исследуется вопрос использования электрического привода погружного насоса для нефтяной промышленности, рассматривается возможность повышения эффективности работы погружного насоса путем замены привода с асинхронного двигателя на вентильный. В процессе работы рассмотрены преимущества и недостатки двух видов привода для погружного насоса.

**Ключевые слова:** вентильный электродвигатель, асинхронный двигатель, бесконтактный двигатель, привод погружного насоса, насосная станция.

**I.A. Maltsev<sup>1,2</sup>, A.I. Polivina<sup>3</sup>, E.A. Chabanov<sup>1</sup>, A.S. Litvin<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

<sup>2</sup>Perm Scientific and Production instrument-making company, Perm

<sup>3</sup>NPO PermNefteGaz, Perm

<sup>4</sup>СТС Company, Perm

## **THE POSSIBILITY OF INCREASING THE EFFICIENCY OF THE SUBMERSIBLE PUMP BY REPLACING THE DRIVE FROM AN ASYNCHRONOUS MOTOR TO A VALVE MOTOR**

The article examines the issue of using an electric drive of a submersible pump for the oil industry, considers the possibility of improving the efficiency of a submersible pump by replacing the drive from an asynchronous motor to a valve one. In the course of work, the advantages and disadvantages of two types of drive for a submersible pump are considered.

**Keywords:** motor, asynchronous motor, non-contact motor, submersible pump drive, pumping station.

Нефтяная промышленность развивается и остается одним из главных добытчиков источников энергии на Земле. При этом кроме насосов для добычи самой нефти в нефтяной промышленности существует потребность в насосах воды. Водяные насосы используются для добычи воды из скважин, ее транспортировки на большие расстояния и закачки в скважины. В скважины вода закачивается с целью вытеснения нефти для менее затратной ее добычи. Для того чтобы перемещать воду по месторождению на большие расстояния по трубам, необходимы насосные станции, сейчас они преимущественно имеют привод на асинхронных двигателях [1].

Асинхронный двигатель является самым распространенным и самым дешевым из электродвигателей. Но величина коэффициента полезного действия в некоторых случаях более важна [2]. Известно, что КПД у синхронных двигателей выше, чем у асинхронных. В настоящее время наибольший КПД в синхронных двигателях получен у двигателей с постоянными магнитами на роторе – это наиболее перспективный привод для погружных насосов и других вариантов.

Привод асинхронного двигателя имеет ряд недостатков:

- сравнительно с СД невысокий КПД;
- большие габариты двигателя при равенстве мощностей с СД.

Погружной насос может быть установлен непосредственно в трубу водопровода вместо строительства насосной станции с АД. Это решает сразу ряд задач, так как установка такого насоса не требует капитального строительства (насосной станции), необходимо учесть, что габариты СДПМ меньше, чем у АД при одинаковых мощностях, с более высоким КПД (на 10–15 %) [3].

Сравнение характеристик аналогичных погружных насосов с приводами асинхронным и вентильным двигателями приведено в таблице.

Сравнение характеристик погружных насосов

Параметры	Насос с вентильным двигателем ЦНС «Труба в трубе» 20-1000	Насос с асинхронным двигателем УЭЦН 5А-500-1000
Подача насоса	500 м <sup>3</sup> /сут (21 м <sup>3</sup> /ч)	500 м <sup>3</sup> /сут (21 м <sup>3</sup> /ч)
Напор насоса	1000 м	1000 м
Потребляемая мощность насоса	77 кВт	103 кВт
Номинальная мощность двигателя	100 кВт	125 кВт
КПД двигателя	94 %	82,5 %
Длина насоса	2 м	17 м
Количество ступеней	33 шт	256 шт
КПД насоса	74 %	56 %

Из таблицы видно, что насос с вентильным приводом потребляет меньшую мощность, при этом КПД насоса значительно выше, а его длина меньше в 8,5 раз.

Вентильный двигатель – это электродвигатель по конструкции аналогичный синхронному двигателю с постоянными магнитами, в котором к обмотке ротора подключен бесконтактный полупроводниковый коммутатор. Этим коммутатором управляет датчик положения, рисунок.

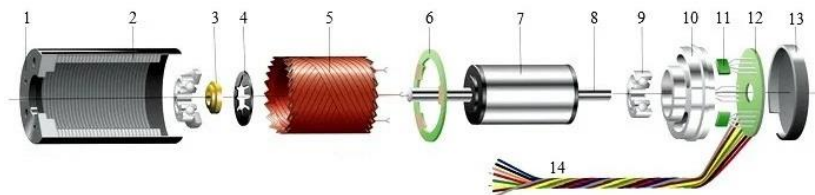


Рис. Вентильный двигатель: 1 – корпус; 2 – электрически непроводящая прослойка; 3 – втулка; 4 – пружинка; 5 – обмотка статора; 6 – диэлектрические кольца; 7 – постоянные магниты; 8 – вал ротора; 9 – подшипниковый узел; 10 – обойма; 11 – датчик холла; 12 – установочный лист; 13 – тыльная сторона; 14 – жгут кабельной системы

Бесконтактный двигатель – это система управляемого электропривода. Эта система включает в себя электродвигатель, блок электронного управления и вентильный преобразователь. Блок электронного управления предназначен для коммутации обмоток статора, в соответствии с положением ротора.

Микроконтроллер, играющий роль устройства управления, регулирует вектор магнитного поля статора, учитывая положение ротора. Коммутация двигателя осуществляется с применением вентильного преобразователя, при этом вентильные двигатели обладают некоторыми преимуществами.

Вентильные двигатели имеют ряд достоинств:

1. Минимальное магнитное сопротивление, что приводит к незначительным потерям энергии.
2. Отсутствие контактных элементов, создающих искры при коммутации, обеспечивает высокий уровень безопасности даже при максимальных нагрузках.
3. Широкий диапазон оборотов и плавное переключение скоростей облегчают эксплуатацию в различных сферах производства.

4. Бесколлекторные электродвигатели могут использоваться в агрессивных и взрывоопасных средах, расширяя область их применения.

5. Высокая точность работы и динамика повышают эффективность насосов.

6. Практически отсутствие радиопомех у вентильных двигателей.

Вентильные двигатели не лишены недостатков, к ним относятся [4]:

1. Управление инвертором достаточно сложно.

2. Значительные затраты.

На основании изученного материала, можно сделать вывод о возможности повышения эффективности работы погружного насоса путем замены привода с асинхронного двигателя на вентильный. В будущем планируется спроектировать модуль вентильного двигателя и рассмотреть его характеристики

### Библиографический список

1. Стыкин А.В., Уразбахтина Н.Г. Принципы применения вентильных электродвигателей в установках погружных электроцентробежных насосов для нефтедобывающих скважин // Электротехнические комплексы и системы. – 2013. – №3 – С. 19– 23.

2. Мальцев И.А., Набиулин Р.Р., Чабанов Е.А. Исследование процесса регистрации токов и напряжений трехфазной электрической машины // Автоматизированные системы управления и Информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф.: в 2 т. Пермь, 09–11 июня 2020 года. Т. 2. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. – С. 207–215.

3. Мальцев И.А., Тюленев М.Е., Чабанов Е.А. Компенсация реактивной мощности в узле нагрузки с использованием устройства «СТАТКОМ» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2022. – № 41. – С. 215–250.

4. Муников А.Д. Вентильные двигатели [Электронный ресурс]: Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LXV Междунар. студ. науч.-практ. конф. – 2018. – № 5(64). – С. 361–369. – URL: [https://sibac.info/archive/technic/5\(64\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/5(64).pdf) (дата обращения: 09.06.2022).

### Сведения об авторах

**Мальцев Илья Анатольевич** – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; инженер-конструктор Пермской научно-производственной приборостроительной компании, г. Пермь, e-mail: malcevia18.08.1997@mail.ru

**Поливина Анна Ивановна** – инженер-конструктор НПО «Перм-НефтеГаз», г. Пермь, e-mail: sha@permneftegaz.ru

**Чабанов Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: ceapb@mail.ru

**Литвин Артем Сергеевич** – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета; главный инженер компания «СТС», г. Пермь, e-mail: LitvinArtS@yandex.ru



**А.С. Литвин, И.А. Мальцев**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ УЗЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Проведен анализ современных методов диагностики технического состояния изоляции электрических машин переменного тока, описание нового подхода к оценке технического состояния изоляции с учетом широкого спектра параметров, характеризующих ее состояние. В рамках исследования статьи были использованы методы обобщения и систематизации методов неразрушающей диагностики и контроля узлов и элементов электрических машин переменного тока, а также системный, эволюционный, категориальный и моделирования в рамках формирования комплексного показателя технического состояния изоляции электрических машин переменного тока может использоваться для планирования очередности ремонтных работ.

**Ключевые слова:** анализ, методы, неразрушающий контроль, диагностика, техническое состояние, элементы, электрические машины переменного тока.

**A.S. Litvin, I.A. Maltsev**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **ANALYSIS OF METHODS OF NON-DESTRUCTIVE DIAGNOSTICS AND CONTROL OF UNITS AND ELEMENTS OF AC ELECTRICAL MACHINES**

The article analyzes modern methods for diagnosing the technical condition of insulation of alternating current electrical machines, describes a new approach to assessing the technical condition of insulation, taking into account a wide range of parameters characterizing its condition. As part of the research of the article, methods were used to generalize and systematize methods of non-destructive diagnostics and control of components and elements of AC electrical machines, as well as systemic, evolutionary, categorical and modeling within the framework of the formation of a comprehensive indicator of the technical condition of the insulation of AC electrical machines that can be used for planning the repair sequence works.

**Keywords:** analysis, methods, non-destructive testing, diagnostics, technical condition, elements, AC electrical machines.

Во введении дается оценка состояния вопроса, рассматриваемого в научной статье. Приводится постановка задачи, её новизна и актуальность.

Актуальность указанного направления исследований связана прежде всего с наличием большого количества электрических машин переменного тока, в том числе мощных, отработавших гарантийные сроки эксплуатации, но продолжающих работу в составе технологических систем. Достоверная диагностика дефектов электрических машин переменного тока позволяет своевременно и обоснованно выводить их в ремонт по результатам оценки их фактического технического состояния и избавиться от экономических потерь и экологических последствий от аварийной остановки машин переменного тока. Анализ статистических данных свидетельствует, что наиболее часто повреждаются такие узлы электрических машин, как электрическая изоляция обмотки статора электрических машин; стержни короткозамкнутой обмотки ротора асинхронных машин; изоляция листов шихтованных магнитопроводов.

Известно [1], что основной причиной аварий электрических машин переменного тока является повреждение изоляции. Изменение во времени физико-химических показателей, характеризующих процесс старения изоляции, проявляется в виде микротрещин, микропор, образований молекулярных структур проводникового происхождения и других дефектов. Учитывая условия, влияющие на электрическую прочность изоляции, следует заключить необходимость учета структуры и количества дефектов. В то же время при осуществлении процесса диагностирования технического состояния изоляции следует учитывать не только энергию химических связей и масштабы дефектов диэлектрического вещества, но и условия эксплуатации электрической машины. Методы контроля состояния электрических машин переменного тока, основанные на измерениях неэлектрических величин [2, 3], требуют точной информации о физических свойствах материалов и коэффициентов, обычно невозможно измерить или получить достаточно точно. Кроме того, эти параметры и коэффициенты с течением времени изменяются. Наиболее распространены методы неразрушающего контроля по электрическим явлениям. Этим методам посвящены работы А.С. Серебрякова, В.А. Чернышева, М.А. Автаева, но они ориентированы либо на узкий класс электрических машин, либо на определенный режим измерения, что значительно ограничивает их приме-

нение. Цель статьи – анализ современных методов диагностики технического состояния изоляции электрических машин переменного тока, описание нового подхода к оценке технического состояния изоляции с учетом широкого спектра параметров, характеризующих ее состояние.

**Методы исследования, их результаты и обсуждение.** В рамках исследования статьи были использованы методы обобщения и систематизации методов неразрушающей диагностики и контроля узлов и элементов электрических машин переменного тока, а также системный, эволюционный, категориальный и моделирования в рамках формирования комплексного показателя технического состояния изоляции электрических машин переменного тока может использоваться для планирования очередности ремонтных работ.

Методы неразрушающего контроля можно классифицировать по измеряемому или рассчитываемому параметру. К числу этих параметров относятся: сопротивление постоянному току, коэффициент абсорбции, индекс поляризации, тангенс угла диэлектрических потерь, уровень обратного напряжения, интенсивность и амплитуда частичных разрядов. Сейчас выделяют следующие методы неразрушающей диагностики и контроля узлов и элементов электрических машин переменного тока [4]:

- алгоритмический метод технического диагностирования;
- сигнально-параметрический метод технического диагностирования;
- физические методы технического диагностирования.

*Алгоритмический способ.* Принцип действия основывается на использовании проверки правильности функционирования объекта в целом или отдельных его частей на основе оценки соответствующими техническими средствами логических признаков выполнения рабочих действий в процессе рабочего диагностирования. Недостатком алгоритмического метода технического диагностирования выступает необходимость определения работоспособности объекта. Используют сначала проверки, а затем производят поиск повреждений.

*Сигнально-параметрический способ.* Принцип действия основывается на проверке правильности функционирования объекта в целом, или отдельных рабочих сигналов, или параметров действующих элементов объекта в процессе рабочего или тестового диагностирования. Недостатком сигнально-параметрического метода технического диагностирования выступает необходимость диагностической пригодности объекта.

*Физические способы.* Принцип действия основан на установлении технического или физического состояния объекта на анализе физического процесса с момента взаимодействия физического поля с объектом контроля до получения первичной информации. Недостатком этого метода выступает необходимость идентификации физического эффекта, отражающего дефект.

Рассмотрим физические методы диагностирования. В зависимости от технических средств и диагностических параметров можно составить следующий список перспективных физических методов неразрушающего контроля в процессе диагностирования и контроля узлов и элементов электрических машин переменного тока: магнитные, электрические, вихремоточные, радиоволновые, тепловые, оптические, радиационные, акустические методы диагностирования.

Рассмотрим основные из методов диагностирования [5].

*Магнитные методы.* Принцип действия метода основан на анализе взаимодействия магнитного поля с техническим объектом. Способ детектирования: дефектоскоп магнитный, датчик Холла. Объекты контроля: магнитопроводы трансформаторов, турбогенераторов, электрических двигателей. Преимущества метода: малое время диагностирования.

*Электрические способы.* Принцип действия метода основан на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом или возникающего в контролируемом объекте в результате внешнего действия. Способ детектирования: электрический дефектоскоп. Объекты контроля: трансформаторы, турбогенераторы. Преимущества метода: малое время диагностирования.

*Акустические способы.* Принцип действия метода основан на анализе параметров звуковых волн, генерируемых техническими объектами и их составными частями. Способ детектирования: тепловизор. Объекты контроля: электротехническое оборудование электрических станций. Достоинства метода: малое время диагностирования, отсутствие потребности сборки-разборки оборудования, для выявления дефекта.

Отдельное использование этих методов не дает адекватной оценки технического состояния изоляции. Сопротивление постоянному току позволяет выявить только грубые дефекты, а для сухой поврежденной изоляции со значительным сроком службы сопротивление может быть равно сопротивлению новой изоляции. Коэффициент абсорбции и индекс поляризации значительно зависят от увлажнения

воздуха и температуры изоляции, поэтому результаты измерений очень сложно интерпретировать [4].

Для улучшения интерпретации результаты измерений необходимо рассматривать не отдельно, а в комплексе. В работе [5] предложено использование интегрального показателя ТРІ (обобщенный индекс поляризации). Однако и этот метод рассматривает изоляцию только с точки зрения ее реакции на воздействие постоянного тока, но обычно изоляция электрических машин находится под действием переменного тока. С учетом этого необходимо производить комплексные измерения всеми методами.

Предлагается учитывать все параметры, характеризующие техническое состояние изоляции одновременно, а для этого необходимо предварительно выполнить нормирование, то есть привести каждый параметр к единице. Предлагается в качестве базовой величины принять диапазон изменения параметра от наихудшего значения к наилучшему. Исходя из базового диапазона для каждого параметра определяется коэффициент соответствия нормам  $K_{\text{норм}}$ . Если параметр находится на максимально допустимой границе, то  $K_{\text{норм}} = 0$ . Если величина параметра равна наилучшему значению, то  $K_{\text{норм}} = 1$ .

Из всего разнообразия параметров невозможно выделить группы параметров, которые могли бы в равной степени определять техническое состояние изоляции. Поэтому необходимо учитывать значимость каждого из параметров. Для этого каждому параметру ставится в соответствие весовой коэффициент  $m$ . Для определения весового коэффициента применяется диагностика элементов и узлов методом анализа иерархий (МАИ) [6]. Для определения исходных данных для МАИ были проведены исследования в условиях специализированного электроремонтного предприятия с пятью электрическими машинами с разным состоянием изоляции. Оценка технического состояния изоляции выполнялась методами разрушительного контроля (химический анализ, анализ под микроскопом, испытание на электрическую прочность). В методе анализа иерархий попарно сравниваются разные параметры. Затем сравниваются результаты анализа технического состояния разных образцов изоляции по всем параметрам в отдельности. Все результаты сравнений заносятся в матрицы, из которых рассчитываются весовые коэффициенты. Сумма всех весовых коэффициентов равна 1. Результаты расчетов приведены в табл. 1 [7].

Таблица 1

Весовые коэффициенты параметров изоляции для комплексной оценки технического состояния изоляции

Параметр	Обозначение	Весовой коэффициент
Сопротивление постоянному току	R60	0,045
Коэффициент абсорбции	K <sub>абс</sub>	0,40
Коэффициент нелинейности	K <sub>нл</sub>	0,049
Коэффициент электрической абсорбции	DAR	0,189
Индекс поляризации	PI	0,194
Тангенс угла диэлектрических потерь	tgδ	0,185
Постоянная времени релаксации	τ	0,189
Вместе		1,0

При комплексной оценке технического состояния изоляции электрических машин для каждого  $i$ -го параметра учитывается его нормируемое значение  $K_{\text{норм},i}$  и весовой коэффициент  $m_i$ . Комплексный показатель технического состояния изоляции  $Q$  рассчитывается по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^N (K_{\text{норм},i} \cdot m_i).$$

В табл. 2 представлены результаты исследований состояния изоляции электрических машин напряжением 6 кВ на действующих промышленных установках. Сравнивая результаты исследований и сведения об эксплуатации, можно сказать, что оценка по комплексному показателю предоставляет адекватную информацию о текущем техническом состоянии изоляции.

Таблица 2

Результаты исследований и расчетов комплексного показателя

Номер двигателя	р, МВт	Нормируемое значение параметра, K <sub>норм</sub>							Q	Срок службы изоляции, лет
		R60	K <sub>абс</sub>	K <sub>нл</sub>	DAR	PI	tgδ	τ		
1	2600	0	0	0,13	0	0	0,84	0	0,16	20
2	2000	0	0	0,8	0	0	0,69	0	0,17	23
3	3200	1	1	1	0,67	0,5	0,61	0	0,58	3
4	2000	1	1	1	0,67	0,07	0,54	0	0,48	4
5	8000	1	1	1	1	0,93	0,8	0,1	0,78	1

Комплексная оценка текущего технического состояния изоляции электрических машин переменного тока обеспечивает адекватные результаты, уменьшая при этом риск возникновения ошибочных выводов.

**Заключение.** Проведен анализ современных методов диагностики технического состояния изоляции электрических машин переменного тока, описание нового подхода к оценке технического состояния изоляции с учетом широкого спектра параметров, характеризующих ее состояние.

Показано, что методы неразрушающего контроля можно классифицировать по измеряемому или рассчитываемому параметру. К числу этих параметров относятся: сопротивление постоянному току, коэффициент абсорбции, индекс поляризации, тангенс угла диэлектрических потерь, уровень обратного напряжения, интенсивность и амплитуда частичных разрядов. Предлагается учитывать все параметры, характеризующие техническое состояние изоляции одновременно. Это позволит значительно повысить достоверность оценки технического состояния изоляции. Для учета всех параметров необходимо предварительно выполнить нормирование, то есть привести каждый параметр к единице. Предлагается в качестве базовой величины принять диапазон изменения параметра от наихудшего значения к наилучшему. Предложен комплексный показатель технического состояния изоляции электрических машин переменного тока, который может использоваться для планирования очередности ремонтных работ.

Дальнейшее усовершенствование приведенного подхода заключается в повышении точности расчета весовых коэффициентов и установке на основе статистических данных соответствия значений комплексного показателя  $Q$  и необходимых действий. То есть необходимо определить, при каком  $Q$  изоляции электрических машин переменного тока требуется капитальный ремонт, восстановительный ремонт, или не требует ремонта вообще.

### **Библиографический список**

1. Коробейников А.Б., Сарваров А.С. Анализ существующих методов диагностирования электродвигателей и перспективы их развития // Электротехнические системы и комплексы. – 2015. – Т. 26. – С. 4–9.

2. Наливайко А.В., Сюсюка Е.Н. Анализ физических основ неразрушающих методов контроля судовых технических средств // Наука, техника и образование. – 2017. – Т. 6 (36). – С. 9–12.

3. Брякин И.В., Бочкарев И.В., Храмшин В.Р. Разработка нового метода дефектоскопии электрических кабелей // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – Т. 4 (41). – С. 4–10.

4. Спектральный анализ неисправностей синхронной машины / Р.О. Токарев, В.В. Шапошников, Е.А. Чабанов, Е.В. Чабанова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 30. – Р. 227–240.

5. Соколова О.В., Соколов И.С. Устройство для диагностики межвитковых замыканий и дефектов подшипников асинхронных электродвигателей // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11 (3). – С. 592–599.

6. Завидей В.И., Свиридов М.А., Руцинский В.Н. Состояние и перспективы внедрения систем мониторинга и технического диагностирования электрических машин и аппаратов // Экспозиция Нефть Газ. – 2019. – Т. 1 (68). – С. 68–72.

7. Герике П.Б. О едином диагностическом критерии для выявления дефектов электрических машин по параметрам механических колебаний // Известия Уральского государственного горного университета. – 2019. – Т. 2 (54). – С. 100–106. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-2-100-106

### **Сведения об авторах**

**Литвин Артем Сергеевич** – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: litvinarts@yandex.ru

**Мальцев Илья Анатольевич** – аспирант кафедры «Электротехника и электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: malcevilia18.08.1997@mail.ru



**Секция 4**

**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ.  
ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**А.А. Польшгалов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **РАЗРАБОТКА ПЛАНА РЕКОНСТРУКЦИИ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАНЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ FTTB**

Рассматривается повышение качества услуг связи у абонентов, за счёт реконструкции сети передачи данных. Для выполнения реконструкции был произведён аналитический обзор технологии FTTB и топологии «Кольцо». Также рассматривается применение пункта перекоммутации при планировании реконструкции сети с использованием топологии «Кольцо» и с применением оптического волокна.

**Ключевые слова:** топология «Кольцо», FTTB, оптическое волокно.

**A.A. Polygalov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **DEVELOPMENT OF A PLAN FOR THE RECONSTRUCTION OF DATA TRANSMISSION NETWORK USING FTTB TECHNOLOGY**

This article discusses improving the quality of communication services for subscribers, due to the reconstruction of the data transmission network. To perform the reconstruction, an analytical review of the FTTB technology and the Ring topology was carried out. The article also discusses the application of the point of recommutation in the planning of network reconstruction using the topology "Ring" and with the use of optical fiber.

**Keywords:** topology "Ring", FTTB, optical fiber.

В современном мире невозможно представить свою жизнь без Интернета, телефонии, телевидения и остальных телекоммуникационных услуг. Возрастающие потребности абонентов упираются в возможности инфокоммуникационной сети, что ведёт за собой необходимость в модернизации, расширении, улучшении пропускной способности и в повышении качества предоставляемых услуг. С целью удовлетворения всех запросов абонентов производят реконструкции существующих городских сетей.

Цель реконструкции заключается в улучшении предоставляемых услуг связи и в повышении пропускной способности сети за счёт перехода распределительной сети на волоконно-оптические линии связи, содержащие большее количество волокон. Повышение надёжности сети происходит за счёт перехода с физической топологии «Звезда» на топологию «Кольцо», тем самым обеспечивается резервирование.

**Преимущество ППК и топологии «Кольцо».** Топология «Кольцо» является одной из классических форм организации инфокоммуникационных сетей и представляет собой сетевую архитектуру, в которой каждый узел имеет прямое соединение с двумя соседними узлами, образуя замкнутый круг, или кольцо. Таким образом, данные передаются вокруг кольца от одного узла к другому до достижения нужного узла назначения [1–6]. На рис. 1 наглядно показана данная топология.

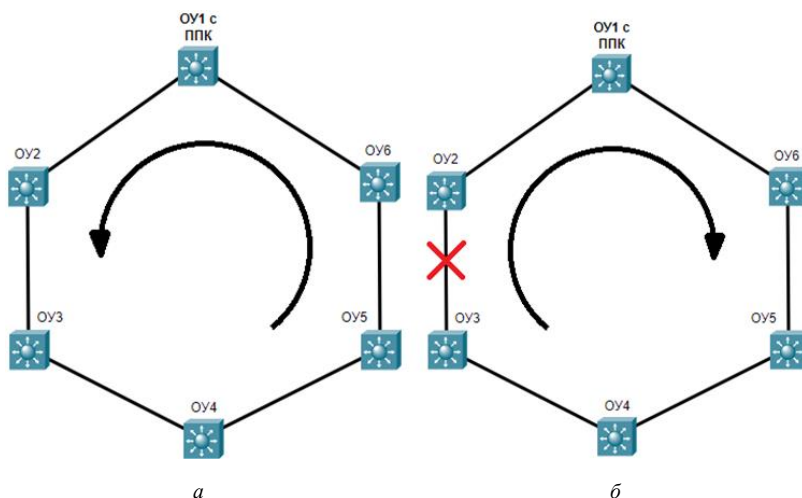


Рис. 1. Передача данных по кольцу до обрыва линии связи (а) и после (б)

Безусловным преимуществом топологии «Кольцо» является сохранение работоспособности всех пользователей сети в случае повреждения кабеля. В данной топологии обеспечивается возможность обхода поврежденных сегментов или неисправных узлов. Если происходит обрыв кабеля или выходит из строя один из узлов, данные могут

продолжать свое движение по кольцу в обратном направлении, благодаря резервной линии. Это повышает надежность сети, поскольку обрыв или сбой на одном участке не приведет к полному выходу из строя всей распределительной сети связи, и позволит дальше оказывать абонентам телекоммуникационные услуги без потери скорости и качества передачи данных [2]. Например, организована передача данных от ОУ1 в сторону ОУ2, как показано на рис. 1. И если происходит обрыв волоконно-оптического кабеля между О2 и О3, то с помощью резервной оптической кабельной линии происходит передача данных в противоположном направлении с помощью пункта перекоммутации. Пункт перекоммутации представляет собой шкаф, в котором присутствует активное коммутационное оборудование. В шкафу расположена кросс-панель, в которой разварен магистральный кабель. Также большим плюсом наличия ППК является возможность круглосуточного мониторинга состояния линии и оперативной ликвидации аварий.

**Технология ФТТВ.** ФТТВ (Fiber to the Building) – оптоволоконно до здания. Данная технология является одним из вариантов развертывания оптических сетей связи, предоставляющих высокоскоростной доступ к Интернету и другим телекоммуникационным услугам [1]. Она подразумевает совместное использование волоконно-оптической и медной линии связи, что позволяет соблюсти баланс в отношении финансовых затрат, связанных со строительством и эксплуатацией оптоволоконной линии [5].

**Разработка плана реконструкции и заключение.** На рис. 2 изображён фрагмент пятиэтажного здания, где ВОК-16 и ВОК-31 – волоконно-оптические линии с 16-ю и 32-мя волокнами соответственно, ФТР – витая пара, ШОУ – шкаф оптического узла, ЭШ – этажный шкаф, М1 – оптическая муфта. Основную магистраль лучше всего протягивать вдоль здания по техническому этажу или чердаку. В качестве конечного узла для распылки ВОК-16 служит ШОУ [4]. Подключение конечных абонентов происходит с помощью витой пары, это позволяет снизить стоимость телекоммуникационных услуг и обеспечить простоту эксплуатации. В ходе написания данной статьи была выявлена оптимальная технология и топология для выполнения реконструкции сети передачи данных. Для того чтобы повысить пропуск-

ную способность сети, были использованы волоконно-оптические кабели связи и была использована технология FTTB с большим количеством волокон, это позволило обеспечивать абонентов высокоскоростным подключением.

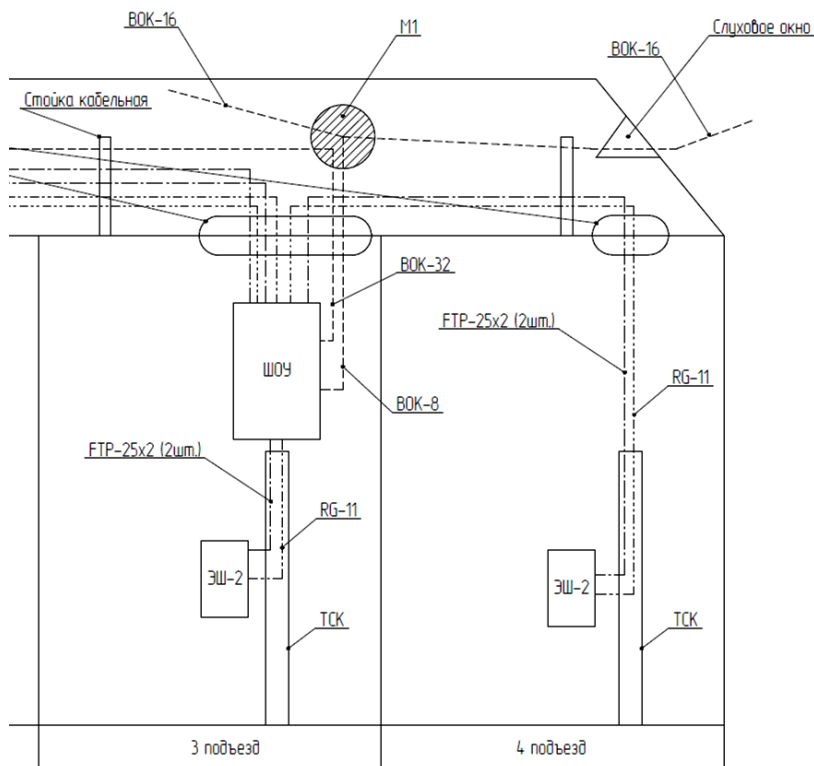


Рис. 2. Расположение оборудования в здании

С использованием топологии на «Кольцо» удалось добиться повышения надёжности распределительной сети за счёт резервирования. Теперь при отказе одного плеча кольца будет происходить перенаправление потока информации с помощью пункта перекоммутации по другому плечу, тем самым позволяя избегать аварии, и предоставлять услуги передачи данных абонентам.

### **Библиографический список**

1. Анисимов А.С. Оптоволокно на последней миле // Вестник связи. – 2008. – № 7. – С. 19–21.
2. Кольцо (топология компьютерной сети) [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кольцо\\_\(топология\\_компьютерной\\_сети\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кольцо_(топология_компьютерной_сети)) (дата обращения: 27.11.2023).
3. Кирсанов И.А. Прокладка оптических кабелей в зданиях / Вестник связи. – 2000. – № 10. – С. 66–68.
4. Норенков И.П., Трудношин В.А. Телекоммуникационные технологии и сети. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 248 с.
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник. – СПб.: Питер, 2000. – 672 с.
6. Убайдуллаев Р.Р. NGN: Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 153 с.

### **Сведения об авторе**

**Полыгалов Андрей Алексеевич** – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-23-1м, г. Пермь, e-mail: [andrew\\_polygalov@mail.ru](mailto:andrew_polygalov@mail.ru)

**К.С. Ежова, А.В. Фрейман**

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ VLAN С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ CISCO PACKET TRACER**

Исследуется технология построения виртуальных локальных вычислительных сетей. Она позволяет обеспечить эффективное и безопасное взаимодействие сетевых устройств между собой. Но перед настройкой коммуникационного оборудования (коммутаторов, маршрутизаторов) важно выполнить проверку правильности созданных конфигураций. Для этого используются инструменты моделирования. Описана функциональность систем моделирования в соответствующей предметной области. Обоснованно выбрана среда моделирования – Cisco Packet Tracer. Поставлена проектная и исследовательская задачи, показаны примеры основных действий по настройке компонентов модели.

**Ключевые слова:** виртуальные локальные вычислительные сети, режим работы интерфейса, тэгирование сетевого трафика.

**K.S. Ezhova, A.V. Freyman**

MIREA – Russian University of Technology, Moscow

## **VLAN TECHNOLOGY RESEARCH WITH USING CISCO PACKET TRACER SIMULATION TOOL**

In this article virtual local area network design technology is researched. It allows you to ensure efficient and secure interaction of network devices with each other. But it is important to check the correctness created of configurations before setting up network devices (switches and routers). Simulation tools are used for this. The functionality of simulation tools in the corresponding subject area is described. The simulation tool Cisco Packet Tracer is reasonably chosen. The design and research tasks are defined, the samples of general examples of basic actions for setting up model components are shown.

**Keywords:** virtual local area networks, interface mode, network traffic tagging.

Для эффективной и безопасной организации взаимодействия сетевых устройств (компьютеров, серверов, многофункциональных устройств, точек беспроводного доступа и т.п.) необходимо структурировать локальные вычислительные сети (ЛВС) предприятий и орга-

низаций. Это делается с использованием технологии виртуализации ЛВС за счет введения дополнительных меток сетевого трафика. Разработан протокол IEEE 802.1Q, в котором предусмотрено присвоение соответствующих меток («тэгов») каждому кадру Ethernet теми устройствами, которые его поддерживают (как правило, это коммутаторы). Портам (интерфейсам) коммутаторов задается принадлежность к одной или нескольким (в зависимости от режима) виртуальным ЛВС (VLAN). Режим Access задается порту коммутатора, который связан с сетевым устройством, не поддерживающим протокол IEEE 802.1Q (например, сетевые адаптеры компьютеров, маршрутизаторы). Режим Trunk задается порту коммутатора, который связан с сетевым устройством, поддерживающим протокол IEEE 802.1Q (например, коммутаторы). При создании VLAN в коммутаторе им задается уникальный идентификатор ID (число от 2 до 4096, единица используется по умолчанию и для управления) и имя Name (строка) [1].

При использовании технологии VLAN взаимодействие между сетевыми устройствами осуществляется только внутри соответствующего VLAN. Это позволяет разграничить сетевой трафик, решая одновременно задачи эффективности и безопасности [2]. При необходимости обеспечить взаимодействие между разными VLAN применяется маршрутизация между VLAN, ее может обеспечить либо коммутатор L3, либо маршрутизатор. Решать проблемы безопасности в этом случае можно с использованием соответствующих инструментов (например, ACL (action control list) для Cisco Systems).

На этапе проектирования ЛВС важно правильно распределить сетевые ресурсы между разными VLAN в соответствии со структурой конкретного предприятия и требованиями информационной безопасности [3]. Для этого рекомендуется провести предварительное исследование с использованием *сред моделирования* (EVE-NG, PNET, GNS3, Cisco Packet Tracer и др.). Наиболее эффективным является наличие у такого программного инструментария возможностей имитировать интерфейс командной строки (CLI – command line interface), с использованием которого конфигурируется подавляющее большинство сетевого оборудования. Это позволяет, кроме непосредственно проверки правильности настройки, использовать готовые конфигурационные файлы для реального коммуникационного оборудования [4]. Далее рассмотрим применение инструментария Cisco Packet Tracer для



проектирования и исследования модели сети предприятия с использованием технологии VLAN.

Рассмотрим *типовую уменьшенную модель локальной вычислительной сети* предприятия или организации (рис. 1). Выделим три вида подсетей:

- закрытая проводная сеть Ethernet (без доступа в Интернет) – ЗПС;
- открытая проводная сеть Ethernet (с доступом в Интернет и без доступа к закрытой сети) – ОПС;
- открытая беспроводная сеть Wi-Fi (с доступом в Интернет и без доступа к закрытой и открытой сетям предприятия) – ОБС.

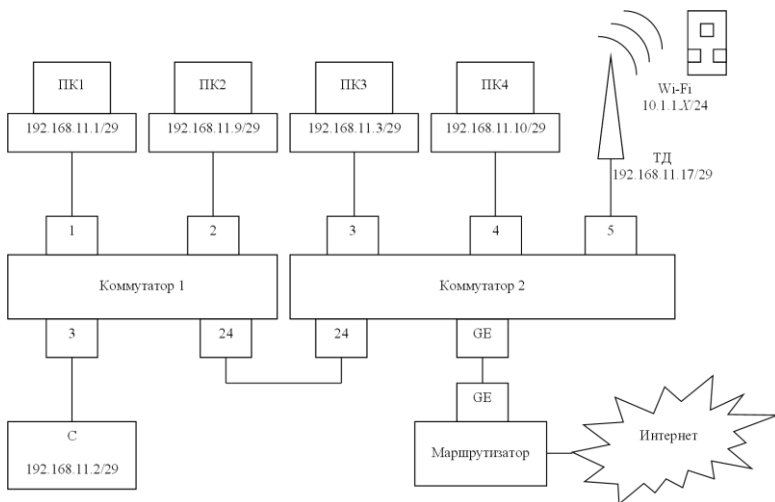


Рис. 1. Модель сети предприятия/организации

*Постановка задачи:* исследовать разграничение трафика с помощью VLAN, обеспечив компьютерам ПК1, ПК3 и серверу С доступ только между собой (ЗПС), компьютерам ПК2 и ПК4 – доступ между собой и в Интернет (ОПС), точке доступа ТД – доступ только в Интернет (ОБС, «гостевая» сеть).

*Решение задачи:* организовать для каждой подсети свой VLAN:

- ЗПС: Name = «VLAN1», ID = 11;
- ОПС: Name = «VLAN2», VLAN ID = 22;
- ОБС: Name = «VLAN3», VLAN ID = 33.

*Настройка коммутаторов.* Порты коммутаторов 1 и 2, к которым подключены компьютеры, сервер и точка доступа, необходимо перевести в режим Access, поскольку трафик от них и к ним пойдет без тегов VLAN, и выбрать номер соответствующего VLAN. Порты коммутаторов 1 и 2, по которым они взаимодействуют друг с другом и с маршрутизатором, необходимо перевести в режим Trunk, поскольку трафик от них и к ним пойдет с тегами VLAN, и выбрать все соответствующие постановке задачи номера VLAN.

*IP-адресация.* Рассмотрим назначение IP-адресов для сетевых устройств. Они должны быть выбраны с учетом распределения по разным IP-подсетям, поскольку должна быть обеспечена маршрутизация сетевого трафика во внешнюю сеть. Выберем маску 29, поскольку в каждой подсети будет не более 6 устройств. Соответственно первые три байта IP-адреса сетевых устройств будут одинаковые – например, 192.168.11. Последний байт IP сеть ЗПС будет иметь адреса с 1-го по 6-й, сеть ОПС – с 9-го по 14-й, сеть ОБС – с 17-го по 22-й.

*Настройка маршрутизатора.* Поскольку необходимо обеспечить выход сетевых устройств из двух подсетей (ОПС и ОБС) во внешнюю сеть Интернет через один порт коммутатора 2, то для этого используется маршрутизация VLAN. Она может быть реализована на коммутаторе уровня L3 (назначением IP-адресов соответствующим VLAN) или на маршрутизаторе (созданием sub-интерфейсов). Воспользуемся вторым вариантом решения задачи. Созданные sub-интерфейсы на основном интерфейсе, через который маршрутизатор взаимодействует с коммутатором 2, должны принадлежать IP-сетям соответствующих VLAN и быть указаны в качестве шлюзов по умолчанию (default gateway) у ПК2, ПК4 и ТД. Но в этом случае появляется возможность взаимодействия и между устройствами обеих открытых сетей, что недопустимо. Поэтому вопросы безопасности в данном случае решаются при помощи управления трафиком через механизм ACL.

Далее рассмотрим порядок и результат реализации модели сети в среде Cisco Packet Tracer. На рис. 2 представлен скриншот основного окна модели. В роли сети Интернет выступает сервер abc.ru. На нем развернуты сервисы http и DNS, поэтому имеется доступ через

web-браузер с любого из сетевых устройств, имеющих по условиям задачи выход в Интернет (ПК2, ПК3, ТД, смартфон).

На рис. 3 показано окно конфигурации VLAN коммутаторов.

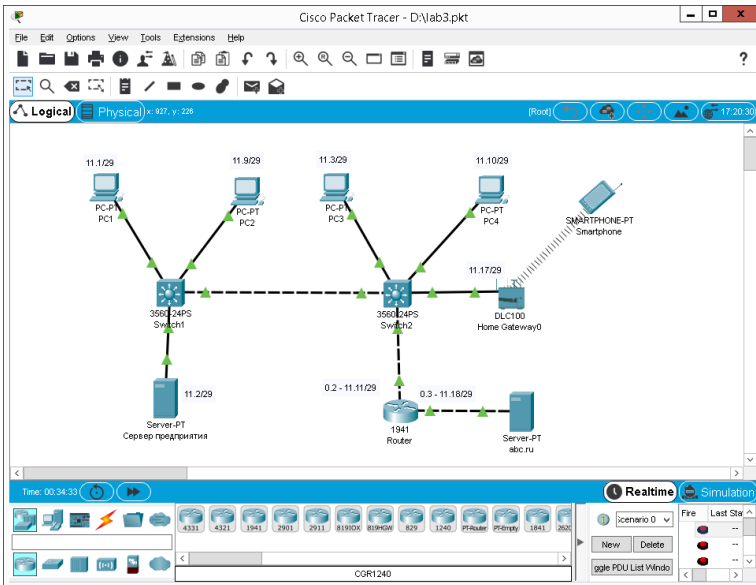


Рис. 2. Модель Cisco Packet Tracer

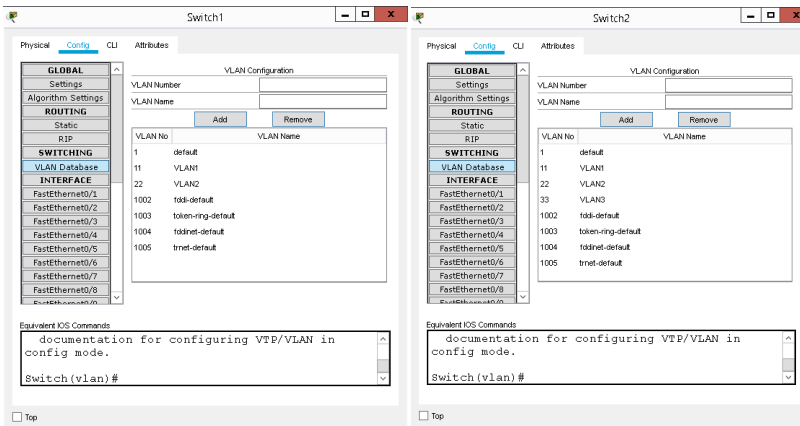


Рис. 3. Настройка VLAN в коммутаторах

Программной настройки через интерфейс командной строки CLI требует только маршрутизатор – у него нужно создать интерфейсы VLAN, настроить sub-интерфейсы для маршрутизации VLAN, сформировать список контроля доступа ACL для разграничения сетевого трафика (запретить передачу между ОПС и ОБС) и прикрепить его к sub-интерфейсам. Далее приведен фрагмент файла конфигурации run-config (листинг 1).

Листинг 1 – Фрагмент файла конфигурации run-config маршрутизатора

```
interface GigabitEthernet0/0
no ip address
duplex auto
speed auto
!
interface GigabitEthernet0/0.2
encapsulation dot1Q 22
ip address 192.168.11.11 255.255.255.248
ip access-group deny_22_33 out
!
interface GigabitEthernet0/0.3
encapsulation dot1Q 33
ip address 192.168.11.18 255.255.255.248
ip access-group deny_22_33 out
!
interface GigabitEthernet0/1
ip address 195.19.161.149 255.255.255.0
duplex auto
speed auto
!
interface Vlan22
mac-address 0090.2b9e.4501
no ip address
!
interface Vlan33
mac-address 0090.2b9e.4502
no ip address
!
ip access-list extended deny_22_33
deny ip 192.168.11.8 0.0.0.7 192.168.11.16 0.0.0.7
permit ip any any
```

Для проверки правильности настройки созданной конфигурации используется команда ping – она выполняется только между ПК1, ПК3 и сервером; между ПК2, ПК4 и сервером abc.ru; между смартфоном и сервером abc.ru. Также можно использовать web-браузер (рис. 4).

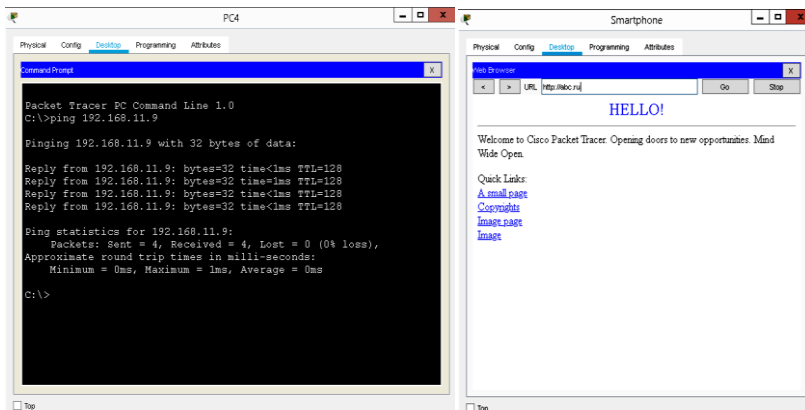


Рис. 4. Тестирование созданной конфигурации

Моделирование позволяет проверить правильность конфигурации проектируемой сети, а наличие встроенной поддержки CLI – создавать фрагменты конфигурационных файлов, которые можно использовать непосредственно для настройки оборудования. Это существенно экономит время развертывания сети и уменьшает вероятность ошибки при ее конфигурировании.

### Библиографический список

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. пособие для вузов. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2018. – 991 с.

2. Гаврилов А.В., Кон Е.Л., Фрейман В.И. К вопросу об управлении распределенными гетерогенными мультивендорными инфокоммуникационными системами // Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 264–270.

3. Кон Е.Л., Фрейман В.И., Южаков А.А. Новые подходы к подготовке специалистов в области инфокоммуникаций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2015. – № 1 (25). – С. 73–89.

4. Ежова К.С., Фрейман А.В. Исследование функционирования и информационной безопасности телекоммуникационных сетей в среде моделирования EVE-NG // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2023. – С. 297–305.

### **Сведения об авторах**

**Ежова Ксения Сергеевна** – студент кафедры КБ-9 «Предметно-ориентированные информационные системы», гр. БСБО-13-21, МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва, e-mail: ezhova33333@gmail.com

**Фрейман Артем Владимирович** – студент кафедры КБ-9 «Предметно-ориентированные информационные системы», гр. БСБО-13-21, МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва, e-mail: artemfrey2003@gmail.com

**Е.С. Трушкин, А.В. Гаврилов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МНОГОПОРТОВОГО КОММУТАТОРА В СИСТЕМЕ ANYLOGIC**

Данное исследование посвящено разработке имитационной модели многопортового коммутатора в программной среде AnyLogic с целью проведения анализа его производительности и отказоустойчивости. Результаты исследования позволяют сделать выводы о производительности коммутатора при различных условиях эксплуатации, а также о его способности справляться с отказами и восстанавливаться после них. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации работы коммутационного оборудования и разработки эффективных стратегий обеспечения отказоустойчивости в сетевых системах.

**Ключевые слова:** имитационная модель, коммутатор, коммутационная матрица, система массового обслуживания, телекоммуникации.

**E.S. Trushkin, A.V. Gavrilo**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF A MULTI-PORT SWITCH IN ANYLOGIC**

This study is dedicated to developing a simulation model of a multi-port switch in the AnyLogic software environment aimed at analyzing its performance and fault tolerance. The research findings allow conclusions to be drawn regarding the switch's performance under various operational conditions and its ability to handle failures and recover from them. The obtained data can be utilized to optimize the operation of switching equipment and develop effective strategies for ensuring fault tolerance in network systems.

**Keywords:** simulation model, switch, switching matrix, queuing system, telecommunications.

Один из способов улучшения эффективности и пропускной способности локальных вычислительных сетей (ЛВС) состоит в использовании виртуальных ЛВС (VLAN). Это основано на логическом разделении сети и их объединении через коммутаторы [1, 2]. Но эффектив-

ная работа коммутаторов возможна лишь при равномерном распределении трафика, когда вероятность передачи пакетов от одного порта к другому примерно одинакова. Однако при неравномерном потоке трафика, когда несколько портов направляют свои данные преимущественно на один порт, коммутатор может не справиться с этой задачей. Поэтому важно иметь инструмент, способный выявлять ситуации, когда применение определенной модели коммутатора для данной сети нецелесообразно. Одним из таких инструментов может быть имитационная модель коммутатора.

Модель многопортового коммутатора основана на принципах функционирования сетевого оборудования, охватывая аспекты портов, буферов, маршрутизации и обработки пакетов данных.

В процессе исследования должны быть определены и настроены различные параметры коммутатора, включая скорость портов, объем буфера, методы маршрутизации, уровень нагрузки и возможные сценарии сбоев.

Планируемые эксперименты в рамках моделирования должны охватывать разнообразные нагрузочные сценарии для оценки производительности коммутатора. Также необходимо провести симуляцию ситуаций сбоев с целью анализа устойчивости к отказам.

Для реализации перечисленных выше задач была создана имитационная модель в системе Anylogic [3], с помощью которой возможно получить значения следующих показателей:

- среднее количество фреймов в каждой очереди;
- среднее время фрейма в системе;
- среднее время фрейма в очереди;
- количество переданных фреймов;
- количество потерянных фреймов.

В ходе работы была построена модель 4-портового коммутатора, имеющего буферную память с дисциплиной FIFO для каждого порта, а также общий буфер RAM, которым пользуются все порты. Параметры модели, которые изменялись для анализа: максимальная вместимость буфера FIFO, время обслуживания фрейма (время записи/чтения RAM) и интенсивность фреймов. Интенсивность поступления нового фрейма определялась треугольным законом распределения.



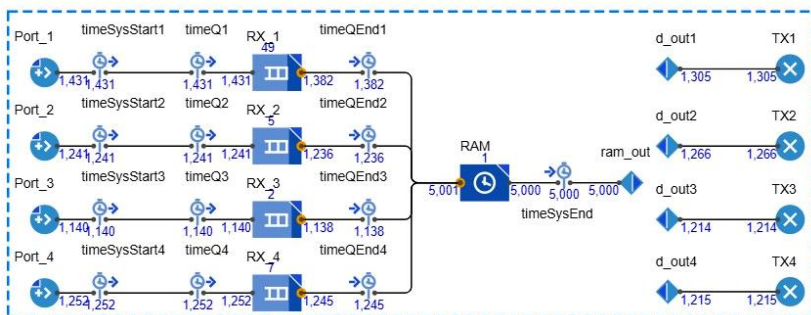


Рис. 1. Схема модели коммутатора

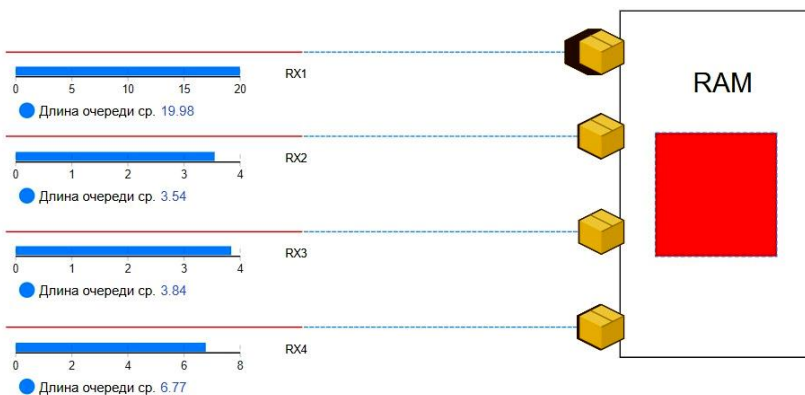
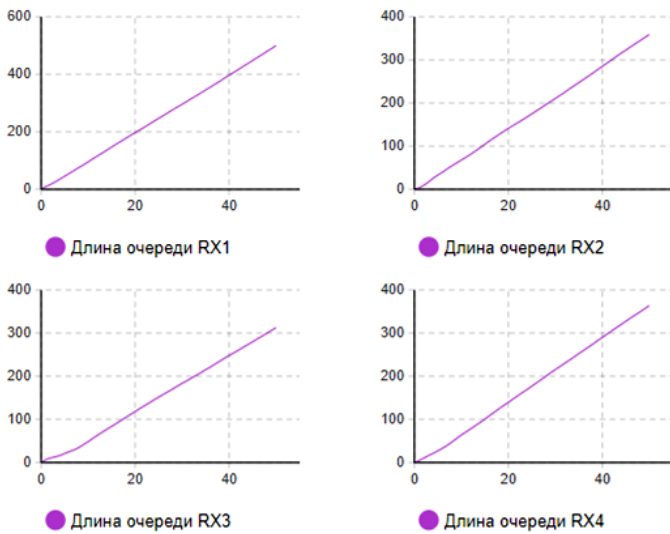
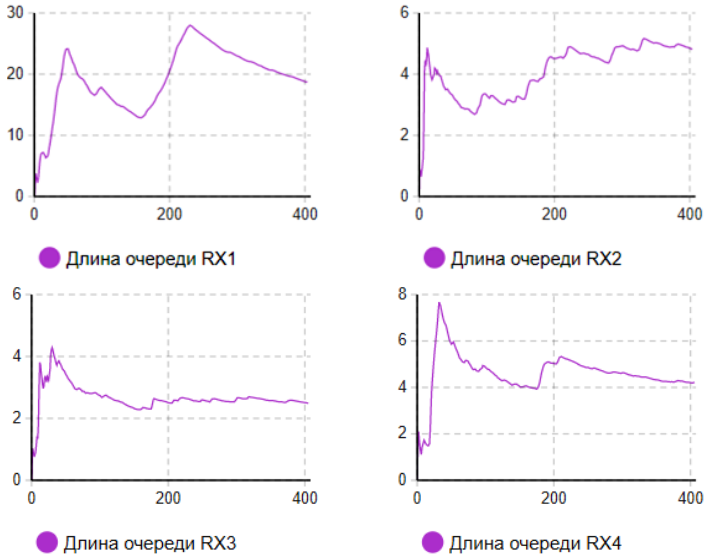


Рис. 2. Графическое представление работы общего буфера и расчет средней длины очереди для каждого порта

Как видно на рис. 3 коммутатор имеет достаточный запас производительности. Об этом говорит максимальная длина очереди, которая получилась в процессе симуляции. Она составляла незначительную часть от общего объема буфера, который имеет предельный объем, равный 1024 фрейма. Для оценки влияния производительности аппаратных ресурсов коммутатора на обработку поступающих пакетов увеличим в два раза время обслуживания, то есть время, которое необходимо для записи/чтения RAM. Прочие параметры системы оставим неизменными. Результат представлен на рис. 4.



Исходя из графиков, представленных на рис. 4, можно сделать вывод, что производительности коммутатора с удвоенным временем обслуживания уже не хватает. Очередь со временем начинает увеличиваться, и рано или поздно входной буфер переполнится, что приведет к потерям фреймов.

В данном случае произошло переполнение буфера у первого порта Rx1 на 50-й секунде симуляции. Чтобы избежать переполнения буфера следует выполнить хотя бы одно из следующих действий:

- уменьшить интенсивность входных фреймов;
- увеличить входной буфер;
- уменьшить время обслуживания фрейма.

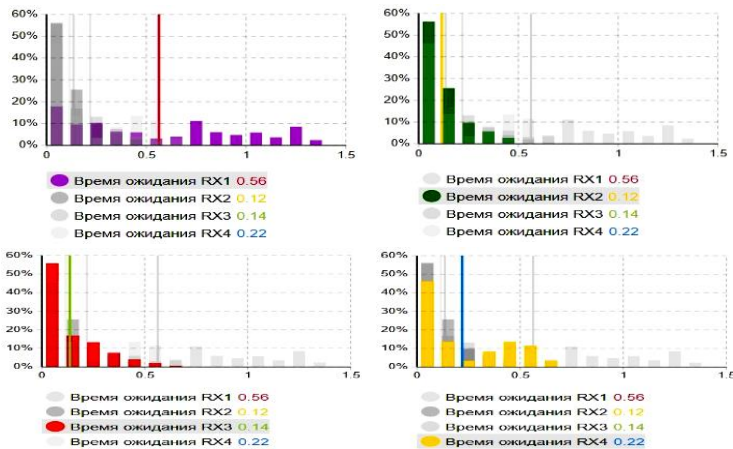


Рис. 5. Графики, отражающие количество фреймов ко времени в очереди, мс

На рис. 5 также указано среднее время нахождения фрейма в очереди для каждого порта (жирная вертикальная линия, точное значение указано в легенде графика). Исходя из основной цели анализа, которая связана с оценкой процесса передачи фреймов между портами, имитационная модель учитывает состояния очередей в узлах и принципы обслуживания очередей. Гибкость модели в настройке под различную интенсивность фреймов и изменение времени обслуживания позволяет использовать ее для общей оценки производительности коммутатора при передаче трафика через все его порты.



Рис. 6. Среднее время задержки коммутатора, мс

В будущем эту модель можно модернизировать и использовать для оценки работы коммутатора, в котором используются различные алгоритмы обработки трафика с учетом приоритетов.

### Библиографический список

1. Татарникова Т.М., Кутузов О.И. Подход к имитационному моделированию многопортового устройства сопряжения матричного типа. – СПб.: ИММОД, 2005.
2. Лазарев В.Г. Интеллектуальные цифровые сети: Справочник / Под ред. академика Н.А.Кузнецова. – М.: Финансы и статистика, 1996.
3. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.

### Сведения об авторах

**Трушкин Егор Сергеевич** – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК-22-1м, г. Пермь, e-mail: egor.s.trushkin@gmail.com

**Гаврилов Алексей Викторович** – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: gaval@pstu.ru

**И.В. Балашов, С.А. Тюрин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА БАЗЕ ECSS-10 SOFTSWITCH**

Рассмотрена модернизация телефонной сети в филиале компании «Россети», связанная с требованием построения сетей на отечественном оборудовании. Модернизация выполнена на оборудовании фирмы ELTEX. В результате модернизации обновилось оборудование, из-за чего повысилась надежность сети и количество абонентов.

**Ключевые слова:** модернизация, IP-PBX, шлюз, оборудование, импорто-замещение.

**I.V. Balashov, S.A. Tyurin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **MODERNIZATION OF THE CORPORATE TELEPHONE NETWORK BASED ON ECSS-10 SOFTSWITCH**

This article describes the main stages at the beginning of the modernization of the telephone network: an analysis of the object of modernization, an analysis of the problems of the existing telephone network, customer requirements and equipment selection. Solutions were presented in the form of connection and placement schemes for this project.

**Keywords:** modernization, IP-PBX, gateway, hardware, import substitution.

**Требования заказчика.** Для начала проектирования необходимо учесть требования заказчика. Основным требованием было обеспечить безопасность государственных электросетей путем замены импортного оборудования на отечественное. Требования заказчика к заменяющему оборудованию были таковы:

– создание единой сети телефонной связи с единой системой и планом телефонной нумерации. Обеспечение возможности совершения вызовов между филиалами различных обществ ГК «Россети»;

- обеспечение надёжной связи между центром управления сетью (ЦУС) и энергообъектами;
- осуществление удаленных групповых и индивидуальных команд;
- оснащение структурных подразделений средствами цифровой связи;
- снижение эксплуатационных расходов на проведение АВР и ТО и расширение сети.

В данном проекте заказчиком в качестве IP-PBX был предопределен ECSS-10.

**Анализ объекта модернизации.** Модернизация выполнялась для филиала компании «Россети» «Нижновэнерго». «Нижновэнерго» является филиалом ПАО «Россети Центр и Приволжье» – единой операционной компании с центром ответственности в г. Нижнем Новгороде, являющейся основным поставщиком услуг по передаче электроэнергии и технологическому присоединению к электросетям во Владимирской, Ивановской, Калужской, Кировской, Нижегородской, Рязанской, Тульской областях, а также в Республике Марий Эл и Удмуртской Республике.

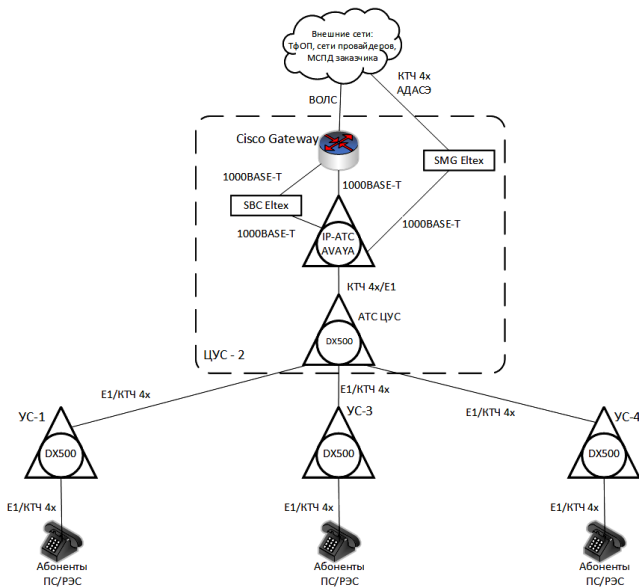


Рис. 1. Схема структурная «Сеть телефонной связи в филиале заказчика» до модернизации

Объект модернизации представляет собой функционирующую сеть телефонной связи (СТС) на базе АТС: Миником DX500 и Avaya Aura. СТС охватывает следующие типы объектов заказчика:

– ЦУС – центр управления сетью. Основной объект филиала, на котором расположены основные серверы, обеспечивающие работу СТС (платформа ECSS-10 включающая в себя диспетчерскую УПАТС, корпоративную УПАТС, вспомогательные сервисы для реализации функционала диспетчерских пультов, подсистему записи переговоров).

– РЭС – район электрических сетей. Обычно относится к территории, на которой управляется и обслуживается электроэнергетическая инфраструктура. Это может включать в себя подстанции, линии передачи, распределительные сети и т.д.

– ПС – подстанция. Производственный объект, обеспечивающий непосредственное распределение электроэнергии.

Расположенные в удаленных РЭС АТС Миником DX500 принимают аналоговые сигналы от внешних линий.

Сетевое оборудование центрального узла связи представляет собой уже названную АТС DX500, а также АТС Avaya Aura, которая принимает и осуществляет вызовы к другим МРСК – межрегиональным распределительным сетевым компаниям.

Соединение с другими филиалами, ГДП и подстанциями осуществляется через арендованный канал стороннего провайдера. Перед этим трафик обрабатывается тремя элементами системы: Cisco Gateway, представляющий собой пограничный маршрутизатор, естественно необходимый для взаимодействия с другими сетями по IP-протоколу; SMG, предназначенный для сопряжения сигнализации и медиа потоков ТфОП (Е1) и VoIP-сетей; и SBC – Session Border Controller, пограничный контроллер сессий, реализующий широкий спектр функций, например, функции обеспечения безопасности сети оператора связи, транскодирования и контроля качества QoS [1].

**Сравнительный анализ Avaya Aura и ECSS-10 по каждому из требований.** Проведем сравнительный анализ существующей коммуникационной платформы с заменяющей ECSS-10 (таблица).

## Сравнение ECSS-10 и Avaya Aura

Требование	ECSS-10	Avaya Aura
Создание единой сети телефонной связи. Обеспечение единой системы телефонной связи с единым планом нумерации с использованием расширенных функций IP-телефонии	Поддерживается	Поддерживается
Надежная связь между ЦУС и энергообъектами. Механизмы высокой доступности и отказоустойчивости	Поддерживается	Поддерживается
Удаленные групповые и индивидуальные команды. Инструментарий для осуществления удаленных групповых и индивидуальных кома	Поддерживается	Поддерживается
Оснащение структурных подразделений средствами цифровой связи. Наличие совместимых с коммуникационной платформой компонентов сети от производителя	Поддерживается	Поддерживается
Снижение эксплуатационных расходов и расширение сети. Оптимизация расходов на обслуживание и расширение сети	Возможно (виртуальная среда)	Возможно (виртуальная среда)

Таким образом, оба продукта обладают схожим функционалом. ECSS-10 выбран в связи с основным требованием.

**Анализ проблем сети телефонной связи.** При анализе объекта модернизации были выявлены следующие основные проблемы:

а) Устаревшее оборудование: используемые филиалом АТС на узлах связи РЭС работают уже несколько лет, следовательно их комплектующие являются устаревшими и не соответствующими новым требованиям компании и международным стандартам.

б) Система «МиниКом DX500», в отличие от ECSS-10, представляет собой в основном аппаратный комплекс. Для увеличения числа абонентов необходимо физически обновлять и дополнять оборудование. В ECSS-10, работающей в виртуальной среде, расширение числа абонентов возможно без физических изменений или дополнений к оборудованию.

в) ECSS-10 Sofswitch предлагает более обширные функции и услуги по сравнению с существующей АТС «МиниКом DX-500» не только из-за различий в архитектуре, но и за счет более широкого набора возможностей.



Таким образом, существующая АТС «МиниКом DX-500» не удовлетворяет требованиям компании и ей необходима замена.

**Выбор IP-PBX.** Основная классификация видов IP-АТС, подходящая для реализации сети по концепции IMS.

1) Локальные IP-АТС, или «классические». Это оборудование и программное обеспечение, установленное непосредственно в офисе компании. Оно соединяет внутренние телефоны с глобальной сетью.

2) Облачные IP-АТС. Сервера, предоставляющие услуги IP-АТС по подписке, расположены в сети стороннего провайдера.

3) Виртуальные IP-АТС. Это программные решения, которые работают на промышленном сервере компании.

Функционал и архитектура ECSS-10 Softswitch относят его к классу виртуальных IP-АТС.

Softswitch является носителем интеллектуальных возможностей сети, который координирует управление обслуживанием вызовов, сигнализацию и функции, обеспечивающие установление соединения через одну или несколько сетей [1].

**Выбор оборудования.** Для функционирования сети было подобрано следующее оборудование

а) Сервер для виртуализации программной части АТС. В качестве сервера будет использоваться уже существующий сервер HPE ProLiant DL380 G10, на котором ранее была установлена программная АТС Avaya Aura.

б) GSM-шлюз. Для сети самым адекватным в соотношении цена/качество услуг оказался шлюз GSM VoIP-шлюз GoIP32 от DBL, так как имеет схожие с аналогами характеристики.

в) Медиашлюз для стыка АТС УС с ЦУС. Так как проектом по модернизации предопределен ECSS-10 в качестве IP-АТС, целесообразно будет использовать для этой цели медиашлюз производства Eltex – SMG-3016 [2, 3].

г) В качестве пограничного контроллера сессий в целях еще большей унификации оборудования будет использован SBC3000.

д) Коммутатор агрегации. Данное оборудование будет использовано в качестве транзитного узла в ЦУС между серверами с ECSS-10.

е) Абонентские SIP-терминалы (VoIP – телефоны). В большинстве своем, объекты заказчика были оснащены достаточным количеством IP-телефонов, которые существовали в предыдущей сетевой структуре.

**Разработка структурной схемы сети.** Одним из завершающих пунктов на начальном этапе модернизации является разработка структурной схемы сети, которая изображает изменения в структуре сети после модернизации.

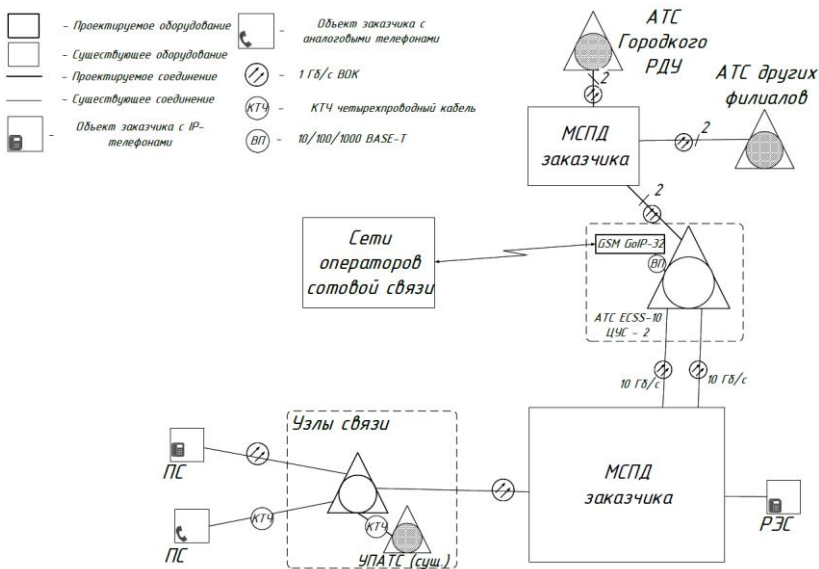


Рис. 2. Схема структурная «Сеть телефонной связи в филиале заказчика» после модернизации в обобщенном виде

При разработке схемы была проанализирована уже существующая схема организации связи, предоставленная заказчиком, и, в соответствии с положениями модернизации, была слегка доработана.

Таким образом, для модернизации на начальном этапе необходимо выполнить следующие действия: провести обзор объекта модернизации (результат – существующая структурная схема организации связи), выявить существующие проблемы и на основании требований заказчика выбрать новое оборудование по критериям пропускной спо-

способности, надежности, адаптируемости к новым технологиям и совместимости с уже существующим оборудованием, не требующим замены. Также были разработаны схема соединений и схема расположения для оборудования для работы непосредственно на объектах.

### **Библиографический список**

1. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Softswitch. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006. – 368 с.

2. Документация ECSS-10, версия 3.14.11. Описание системы [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.eltex-co.ru/ecss31411/opisanie-sistemy-307699074.html> (дата обращения: 06.06.2023).

3. Документация ECSS-10, версия 3.14.11. Архитектура и принципы работы системы [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.eltex-co.ru/ecss31411/arhitektura-i-printsipy-raboty-sistemy-307699076.html> (дата обращения: 06.06.2023).

### **Сведения об авторах**

**Балашов Илья Витальевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-23-1м, г. Пермь, e-mail: [i\\_balashov01@mail.ru](mailto:i_balashov01@mail.ru)

**Тюрин Сергей Александрович** – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [tiurinsa@yandex.ru](mailto:tiurinsa@yandex.ru)

**В.А. Фёдоров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИВЕНДОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ: ОБЗОР**

В настоящее время построение сетей на основе мультивендорного сетевого оборудования является одной из наиболее актуальных проблем в сфере информационных технологий, так как возникает ряд проблем, связанных с настройкой и управлением такой сети. Но реализация такой сети позволяет создавать гибкие и масштабируемые сетевые инфраструктуры, используя оборудование различных производителей. В статье рассматриваются основные понятия и принципы функционирования мультивендорных сетей, их преимущества и недостатки, основные технологии, а также причины использования мультивендорного оборудования.

**Ключевые слова:** мультивендорная сеть, сетевое оборудование, вендор.

**V.A. Fedorov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **ANALYZING THE USE OF MULTIVENDOR EQUIPMENT IN MODERN NETWORKS: AN OVERVIEW**

Currently, the construction of networks based on multivendor network equipment is one of the most pressing problems in the field of information technology, as there are a number of problems associated with the configuration and management of such a network. But realization of such a network allows to create flexible and scalable network infrastructures using equipment of different manufacturers. The article discusses the basic concepts and principles of multivendor networks, their advantages and disadvantages, the main technologies, as well as the reasons for using multivendor equipment.

**Keywords:** multivendor network, network equipment, vendor.

Мультивендорные сети (multivendor networks) представляют собой сетевую архитектуру, которая включает в себя оборудование и решения от разных производителей, а не только от одного вендора.

Мультивендорные сети [1–3] включают в себя определённые понятия для успешной реализации и работы сети, такие как:

– мультивендорность: это концепция использования нескольких поставщиков оборудования для создания сети. Вместо того чтобы полагаться только на одного поставщика, мультивендорные сети объединяют различные продукты и решения от разных вендоров для достижения оптимальной функциональности;

– интероперабельность: интероперабельность означает способность разных устройств и решений работать вместе и взаимодействовать друг с другом без проблем. Это достигается благодаря использованию стандартных протоколов и интерфейсов, которые обеспечивают совместимость между разными вендорами;

– гетерогенность: гетерогенные сети представляют собой сети, состоящие из различных типов и моделей оборудования от разных вендоров. Это могут быть маршрутизаторы, коммутаторы, файрволы, балансировщики нагрузки и другие устройства;

– централизованное управление: централизованное управление представляет собой подход, при котором управление и контроль сетью осуществляются с помощью централизованной системы управления сетью или программного обеспечения, которое позволяет администраторам управлять и мониторить все устройства в мультивендорной сети;

– разделение функций: Разделение функций представляет собой распределение различных сетевых функций между устройствами от разных вендоров. Например, маршрутизация может быть выполнена на одном устройстве, а коммутация на другом. Это позволяет оптимизировать производительность и гибкость сети;

– интеграция и тестирование: интеграция и тестирование включают в себя процессы объединения различных компонентов мультивендорной сети и проверку их работоспособности вместе. Это важный шаг для обнаружения и устранения возможных проблем и обеспечения надежности и эффективности сети.

Эти понятия являются основой для понимания работы мультивендорных сетей. Но всё это не может правильно функционировать без определённых принципов работы:

– открытость и стандартизация: мультивендорные сети строятся на основе открытых стандартов и протоколов, которые позволяют раз-

ным устройствам и решениям взаимодействовать между собой. Это обеспечивает гибкость и свободу выбора вендоров;

– гибкость и масштабируемость: мультивендорные сети должны быть гибкими и масштабируемыми, чтобы адаптироваться к изменяющимся требованиям и расширяться по мере необходимости. Это достигается путем выбора устройств и решений, которые могут легко интегрироваться в существующую инфраструктуру;

– управление рисками: разнообразие поставщиков в мультивендорных сетях позволяет уменьшить риски, связанные с единственной точкой отказа. В случае проблемы с оборудованием одного вендора, другие компоненты сети могут продолжать работать, обеспечивая непрерывность бизнес-процессов;

– обучение и поддержка персонала: работа с мультивендорными сетями требует знания различных устройств, протоколов и решений от разных вендоров. Обучение и поддержка персонала играют важную роль в успешной работе и обслуживании мультивендорной сети.

Мультивендорные сети представляют собой сложную инфраструктуру, требующую особого внимания при проектировании, управлении и обслуживании. Для обеспечения эффективной работы мультивендорной сети необходимо использовать совместимое оборудование, протоколы связи и программное обеспечение, а также использовать систему управления сетью для централизованного контроля и мониторинга. Кроме того, важно обеспечить поддержку и обучение персонала для эффективного функционирования мультивендорной сети.

**Преимущества и недостатки мультивендорных сетей.** По сравнению с сетью на оборудование одного вендора, мультивендорная имеет ряд достоинств, которые благодаря им имеют неоспоримое преимущество при реализации информационной сети. Достоинства мультивендорных сетей включают в себя:

– неограниченный выбор сетевого оборудования: мультивендорные сети предоставляют возможность выбора различного сетевого оборудования от разных поставщиков. Учреждения могут собрать оптимальный набор оборудования и программного обеспечения, учитывая свои конкретные потребности и требования;

– снижение рисков и зависимости: одним из основных преимуществ мультивендорных сетей является снижение рисков и зависимо-

сти от одного вендора. В случае проблем или неполадок с продуктами или услугами одного вендора, учреждение может обратиться к другому вендору или перейти на его решения без существенного влияния на работоспособность сети;

– лучшее соотношение цена/качество: конкуренция между разными вендорами позволяет компаниям получить лучшее соотношение цены и качества продуктов и услуг. Благодаря возможности сравнения и выбора между разными вендорами, учреждение может получить лучшие условия поставки и поддержки, а также более выгодные цены на оборудование;

– больше возможностей для интеграции: разнообразие продуктов от разных вендоров обеспечивает больше возможностей для интеграции и взаимодействия между компонентами сети. Это позволяет создавать более сложные и гибкие архитектуры сети, включающие различные технологии и функции.

Мультивендорные сети, несмотря на свои преимущества, также могут столкнуться с некоторыми проблемами. Вот несколько основных проблем, которые могут возникнуть при использовании мультивендорной сети:

– интеграция и совместимость: различные компоненты сети от разных вендоров могут иметь разные протоколы, интерфейсы и спецификации. Это может создать проблемы с интеграцией и взаимодействием между компонентами. Необходимость обеспечить совместимость и настроить правильную интеграцию между различными продуктами может быть сложной задачей;

– проблемы сетевой безопасности: различные компоненты от разных вендоров могут иметь разные уровни безопасности и уязвимости. Управление безопасностью в мультивендорной сети может быть сложным, так как необходимо обеспечить единообразные политики безопасности для всех компонентов и обеспечить их совместную работу;

– риск зависимости от вендоров: в мультивендорных сетях компании все равно могут оказаться в некоторой зависимости от вендоров. Это может быть связано с обновлениями программного обеспечения, поддержкой, обеспечением совместимости и другими аспектами. Если один из вендоров сталкивается с проблемами или прекращает под-

держку продукта, это может повлечь за собой проблемы и задержки для сети;

– сложность мониторинга: отслеживание производительности и обнаружение проблем в мультивендорной сети может быть сложным из-за различных протоколов связи и устройств. Кроме того, проблемы могут быть вызваны несовместимостью оборудования или настройками протоколов связи. Для решения этой проблемы необходимо использовать систему управления сетью, которая позволяет мониторить состояние сети и производительность устройств. Также можно использовать системы мониторинга производительности, такие как системы сбора и анализа данных о производительности сети и устройств.

**Основные используемые технологии.** В мультивендорных сетях используются различные технологии для обеспечения совместимости, интеграции и эффективного функционирования. Некоторые из основных технологий, используемых в мультивендорных сетях, включают:

– протоколы и стандарты сети: использование общепризнанных протоколов и стандартов сети, таких как Ethernet, TCP/IP, VLAN, MPLS и других, является основой для обеспечения взаимодействия между различными компонентами в мультивендорной сети. Эти протоколы и стандарты гарантируют совместимость и обмен данными между разными вендорами;

– программное определение сети (SDN): SDN представляет собой архитектуру управления сетью, где управление и контроль сетевыми функциями выносятся из физического оборудования в программное обеспечение. Это позволяет централизованно управлять и настраивать сеть от разных вендоров, упрощая управление и обеспечивая гибкость;

– виртуализация сети: виртуализация сети позволяет создавать виртуальные сетевые ресурсы, такие как виртуальные локальные сети (VLAN), виртуальные маршрутизаторы и виртуальные приватные сети (VPN). Это позволяет объединять компоненты сети от разных вендоров в единую виртуальную инфраструктуру, обеспечивая гибкость и управляемость.

Важно отметить, что конкретные технологии, используемые в мультивендорной сети, могут различаться в зависимости от требований и потребностей сетевой инфраструктуры.



### **Причины использования мультивендорного оборудования.**

В 2019 г. в России был принят закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (Федеральный закон № 187), который, в частности, предполагает использование сетевого оборудования от стран, не вносивших санкции против Российской Федерации.

Подобная мера предпринята в свете геополитической обстановки и с целью защиты критически важных элементов информационной инфраструктуры страны от возможных вредоносных воздействий.

В рамках этого закона компании, оперирующие в определенных сферах, таких как энергетика, транспорт, финансы, здравоохранение, и относящиеся к операторам критической информационной инфраструктуры, должны придерживаться требований к использованию оборудования и программного обеспечения, которые соответствуют установленным законодательством критериям безопасности.

Поэтому компании отходят от использования одновендорного оборудования в сторону мультивендорного, с целью минимизировать расходы на замену сетевого оборудования которые не соответствуют федеральному закону РФ.

**Закключение.** В современном динамичном мире информационных технологий мультивендорные сети становятся неотъемлемой частью сетевой инфраструктуры, играя ключевую роль в обеспечении гибкости, безопасности и эффективности предприятий. Обсуждаемая в статье концепция мультивендорных сетей подчеркивает важность разнообразия поставщиков и оборудования для создания устойчивых и высокопроизводительных сетевых инфраструктур.

Акцентируя внимание на необходимости предотвращения зависимости от единственного поставщика, мультивендорные сети способствуют повышению отказоустойчивости и снижению рисков, связанных с возможными сбоями в работе оборудования. Кроме того, данная концепция обеспечивает предприятия возможность выбирать наилучшие решения для своих конкретных потребностей, а также снижает зависимость от технических изменений и инноваций, предоставляя компаниям гибкость в выборе технологических партнеров.

Мультивендорные сети не только способствуют повышению эффективности и снижению рисков, но также улучшают общую безопас-

ность функционирования. Распределение ответственности между несколькими поставщиками повышает уровень защиты от возможных угроз и атак, обеспечивая комплексный подход к безопасности информационных систем.

Таким образом, внедрение мультивендорных сетей представляет собой актуальное и важное направление развития информационных технологий, способное значительно улучшить гибкость, безопасность и надежность корпоративных сетевых структур. Осознание преимуществ данной концепции поможет предприятиям создать сбалансированные и инновационные сетевые решения, соответствующие потребностям современных сетей.

### **Библиографический список**

1. Олифер Н.А. Компьютерные сети. принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2022. – 1008 с.
2. Транебаум Э. Компьютерные сети. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 992 с.
3. Смирнова П.В. Сетевые технологии и средства мультисервисных сетей. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 304 с.

### **Сведения об авторе**

**Фёдоров Виталий Андреевич** – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-23-1м, г. Пермь, e-mail: fed.vit@mail.ru

**А.В. Цыплякова**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНОЙ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ DWDM**

Исследуется возможность проектирования магистральной волоконно-оптической линии связи с использованием технологии DWDM. Использование технологии DWDM позволяет передавать данные через одно оптическое волокно с использованием различных длин волн, что позволяет увеличить пропускную способность канала связи в несколько раз. Таким образом, построение волоконно-оптической линии связи с использованием технологии DWDM позволит значительно увеличить скорость передачи данных и обеспечит безопасность канала связи, чтобы соответствовать требуемой пропускной способности, так как потребности в этом плане и в надёжности канала связи растут.

**Ключевые слова:** волоконно-оптическая линия связи, магистральная сеть, DWDM, пропускная способность, мультиплексирование.

**A.V. Tsyplyakova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **DESIGN OF BACKBONE FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINE ON THE BASIS OF DWDM TECHNOLOGY**

This paper investigates the possibility of designing a backbone fiber-optic communication line using DWDM technology. The use of DWDM technology allows to transmit data through a single optical fiber using different wavelengths, which can increase the bandwidth of the communication channel several times. Thus, the construction of fiber optic communication link using DWDM technology will significantly increase the speed of data transmission and ensure the security of the communication channel to meet the required bandwidth, as the needs in this regard and the reliability of the communication channel are growing.

**Keywords:** fiber-optic communication link, backbone network, DWDM, bandwidth, multiplexing.

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) – это технология, используемая в оптоволоконной связи для увеличения пропускной

способности сетей. Она позволяет объединять несколько сигналов на разных длинах волн в одном оптоволоконном кабеле, что позволяет передавать больше информации по сети.

Сети DWDM играют значимую роль в таких сферах, как телекоммуникации, Интернет, облачные вычисления и т.д. Они обеспечивают быструю и надёжную передачу данных, позволяя людям связываться, обмениваться информацией. Таким образом, сети DWDM являются основой современного мира инфокоммуникаций, их использование позволяет эффективно обеспечивать связь и передавать огромные объёмы данных.

Операторы связи во всём мире ежегодно прокладывают десятки тысяч километров волоконно-оптического кабеля в реках, грунте, кабельной канализации, на опорах воздушных линий и т.д. Многие компании активно исследуют волоконно-оптические технологии с целью увеличения пропускной способности.

Рассмотрим пример проекта волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) использованием технологии DWDM между городами Пермь и Ижевск. Между городами Пермью и Ижевском уже проложена магистральная ВОЛС, которая оборудована системой синхронной цифровой иерархии (SDH) со скоростью передачи 622 Мбит/с и 2,5 Гбит/с, что в перспективе не даёт гарантий по крупному увеличению пропускной способности, а также по стратегической неуязвимости канала связи [1]. Имеющаяся магистральная линия связи имеет свои достоинства, но в ближайшее будущее не будет соответствовать требуемой пропускной способности, так как потребности в пропускной способности и в надёжности канала связи растут. Что касается технологии DWDM, то она позволит многократно увеличить скорость передачи как существующих волоконно-оптических линий связи, так и вновь проектируемых. Это возможность имеет огромное значение, учитывая постоянно растущий спрос на более высокие скорости передачи данных.

Сети DWDM работают по принципу коммутации каналов, при этом каждая световая волна представляет собой отдельный спектральный канал и несёт свой информационный поток. Основные функции оборудования DWDM – операции мультиплексирования и демуплексирования, то есть объединение различных длин волн в одном световом пучке и выделение информации каждого спектрального канала из общего сигнала [2].

Суть метода DWDM заключается в том, что несколько информационных цифровых потоков, переносимых каждый на своей несущей длине волны в оптическом диапазоне длин волн и разнесённых в пространстве с помощью оптических мультиплексоров – объединяются в один оптический поток, после чего он направляется в оптическое волокно, входящее в оптический кабель. На приёмной стороне производится разделение потока с помощью оптического демультиплексора.

Расстояние между несущими в DWDM-системах может составлять 25...200 ГГц, в современных сетях часто используется сетка каналов с шагом 50 ГГц. Для передачи используются прежде всего спектральные диапазоны C (1530...1565 нм), S (1460...1530 нм) и L (1565...1625 нм) [3]. Выбор оптического кабеля обуславливается пропускной способностью проектируемой системы, которая может быть определена как максимальная скорость передачи данных по волокну, Гбит/с, как представлено в формуле [4]:

$$B_0 = B_{\text{тф}} + B_{\text{оп}} + B_{\text{DSL}} + B_{\text{моб}} + B_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где  $B_{\text{тф}}$  – телефонный трафик;  $B_{\text{оп}}$  – общая скорость передачи обычных пользователей сети Интернет;  $B_{\text{DSL}}$  – общая скорость DSL-пользователей;  $B_{\text{моб}}$  – общая скорость мобильных пользователей;  $B_{\text{тр}}$  – магистральный транзит.

Для расчёта числа длин волн (каналов) при организации каналов используется формула [4]:

$$N_\lambda = \frac{B_0}{B_I}, \quad (2)$$

где  $B_I$  – скорость интерфейсного потока, Гбит/с.

Длина участков волоконно-оптической линии передачи должна быть как можно больше, чтобы уменьшить количество необслуживаемых усилительных пунктов. Определение длины участка осуществляется двумя параметрами: затуханием регенерационных участков (РУ) и дисперсией сигнала оптического волокна (ОВ).

Максимальная длина ВОЛС, км, с ограничением по затуханию представлена в формуле [5]:

$$l_{\text{румакс}} = \frac{\Theta + A_n - 2A_p - \Theta_\alpha}{\alpha + A_n / l_{\text{стр}}}, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_3$  – энергетический эксплуатационный запас, необходимый для компенсации эффекта старения элементов аппаратуры волоконно-оптических систем передачи и оптического волокна соответственно, дБ;  $A_n$  – затухание неразъёмного оптического соединителя, равное 0,05 дБ;  $A_p$  – затухание разъёмного оптического соединителя, равное <0,2 дБ;  $\mathcal{E}$  – энергетический потенциал системы, дБ;  $\alpha$  – коэффициент затухания оптического волокна, дБ/км;  $l_{стр}$  – строительная длина оптического кабеля, км.

Приемные устройства, как правило, оснащаются системой автоматической регулировки усиления с пределами регулирования  $A_{ару}$ , которые определяют минимальную проектную длину регенерационного участка, как представлено в формуле (4) [5]:

$$l_{румин} = \frac{\mathcal{E} + A_n - 2A_p - \mathcal{E}_3 - A_{ару}}{\alpha + A_n / l_{стр}}. \quad (4)$$

Длина регенерационного участка с учётом дисперсии для одноименных ОВ зависит от параметров среды передачи и от характеристик аппаратуры. Формула для расчёта представлена в формуле (5) [5]:

$$l_{руд} \approx \frac{E}{\tau \cdot \Delta\lambda \cdot B}, \quad (5)$$

где  $B$  – скорость передачи, Гбит/с;  $\tau$  – коэффициент хроматической дисперсии ОВ, пс/нм·км;  $\Delta\lambda$  – ширина спектра источника оптического излучения, нм;  $E$  – тип системы передачи.

Что касается топологии, то она определяет способ подключения устройств передачи данных в сети: физическое расположение устройств, их связи и способ организации трафика. Сети DWDM в настоящее время часто используются операторами связи для построения высокоскоростных сетей передачи данных на основе топологий «точка – точка» или «кольцо».

Топология «точка – точка» является самой простой, где оптические устройства подключены последовательно в линию. Каждый узел обычно имеет два порта излучателя и приёмника, которые подключаются напрямую к оптическому волокну. Данные передаются напрямую между двумя узлами без необходимости маршрутизации через другие узлы. В кольцевой топологии устройства связаны в виде кольца, где

каждое устройство может быть подключено к двум соседним устройствам. Это создает резервные пути для обхода поломки в кабеле или других устройствах.

Одним из основных методов повышения надёжности сетей является организация резервирования. В системах DWDM применяются следующие виды резервирования [3]:

1) сетевое резервирование: каналов данных на электрическом уровне, резервирование оптических каналов, резервирование оптического маршрута;

2) аппаратное резервирование: резервирование отдельных плат аппаратуры DWDM, резервирование кабеля связи (оптических волокон).

Резервирование 1+1 и 1:1 является одной из технологий, используемых в DWDM сетях для обеспечения надёжности и отказоустойчивости. Резервирование 1+1 представляет собой дублирование оптического сигнала по двум разным трактам, которые работают параллельно. В случае сбоя или проблем на одном из трактов резервный тракт автоматически включается и обеспечивает непрерывность передачи данных. Резервирование 1:1 также предполагает наличие резервного тракта, однако в отличие от резервирования 1+1 он не используется параллельно с основным трактом. Вместо этого резервный тракт остаётся в резерве и активируется только в случае необходимости. Таким образом, данный тип резервирования обеспечивает экономию пропускной способности, поскольку резервный тракт используется только при необходимости.

Схема организации связи DWDM-сети между городами Пермью и Ижевском показана на рисунке. Предусматривается резервирование кабеля 1+1.

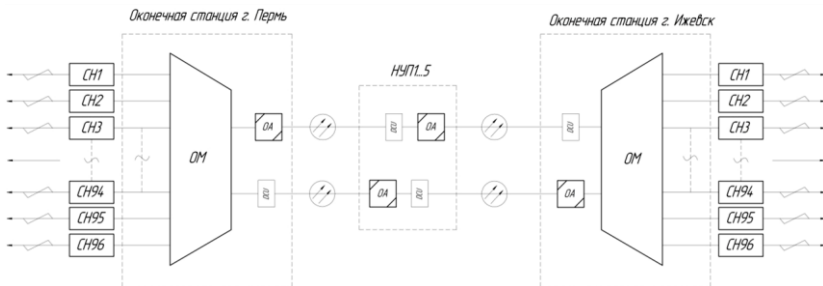


Рис. Схема DWDM-сети

Основные элементы сетевой конфигурации DWDM включают в себя:

1. Оптический модуль (СН1...СН96) – специальные модули, которые позволяют передавать и принимать оптические сигналы различных длин волн на одной оптической волоконной линии.

2. Мультиплексоры/демультиплексоры (ОМ). Эти устройства позволяют объединять и разделять оптические сигналы различных длин волн на оптической линии передачи данных.

3. Оптические усилители (ОА). Используются для усиления оптических сигналов, чтобы компенсировать потери сигнала на протяженной оптической линии.

4. Компенсатор хроматической дисперсии (DCM) – пассивное оптическое устройство, предназначенное для исправления формы оптических сигналов в протяженных системах спектрального уплотнения DWDM.

Для передачи данных на длине волны из сети DWDM был использован трансивер, который устанавливается в слот мультиплексора соответствующего форм-фактора. Трансиверы поддерживают передачу данных на определённой скорости в рамках системы спектрального уплотнения и являются двухволоконными: порт «Tx» для передачи, порт «Rx» для приёма. Оптический мультиплексор/демультиплексор спектрального уплотнения DWDM выполняет объединение/разделение оптических каналов передачи данных по двум одномодовым волокнам. Незадействованные слоты предназначены для будущего расширения сети. Если мультиплексор двухволоконный, следовательно, одно одномодовое волокно включает оптический усилитель в прямом направлении, а другое содержит компенсатор дисперсии в обратном направлении.

Усилитель и компенсатор дисперсии объединяются в оптический кросс, который выходит на оптоволоконный канал. Резервирование при подключении дополнительных каналов к оптическому кроссу позволяет расширить сеть по мере увеличения объёма трафика и ввода новых пар оптоволокон.

Таким образом, на базе технологии DWDM было наглядно рассмотрены этапы организации волоконно-оптической система передачи. Технология DWDM является одной из самых востребованных технологий в области построения магистральных оптических сетей. Она



удовлетворяет требованиям сетей с большой протяженностью и пропускной способностью, обладает гибкостью расширения и модернизации, и высокой скоростью передачи.

### **Библиографический список**

1. Магистральные сети связи в России [Электронный ресурс]. Сайт компании «Проинтех». – URL: <https://www.comnews.ru/content/211042/2020-10-21/2020-w43/magistralnye-seti-svyazi-rossii> (дата обращения: 01.12.2023).

2. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 992 с.

3. Трешиков В.Н., Листвин В.Н. DWDM системы. – 4-е изд. – М.: Техносфера, 2021. – 420 с.

4. Колесников В.А., Морозов Б.Н., Колесников О.В. Задания и методические указания к выполнению курсового проекта по курсу Направляющие системы электросвязи / сост. В.А. Колесников, Б.Н. Морозов, О.В. Колесников. – М.: Московский технический университет связи и информатики, 2013. – 54 с.

5. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей: учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2008. – 392 с.

### **Сведения об авторе**

**Цыплякова Анна Владимировна** – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика», Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-23-1м, г. Пермь, e-mail: [tsyplyakova.anna01@mail.ru](mailto:tsyplyakova.anna01@mail.ru)

**А.Д. Равилов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ**

Исследуются типы фазовой автоподстройки частоты и методы их построения. Изложен способ построения фазовой автоподстройки в программном комплексе Quartus ii. Данный способ позволяет улучшить качество расчётов коэффициентов подстройки и выявить недостатки существующих методов построения.

**Ключевые слова:** фазовая автоподстройка частоты, программные логические интегральные схемы, частота подстройки, генератор управляемый напряжением, опорная частота.

**A.D. Ravilov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **INVESTIGATION OF THE PHASE-LOCKED FREQUENCY**

The article examines the types of phase-locked frequencies and methods of their construction. A method for constructing a phase-locked loop in the Quartus ii software package is described. This method allows you to improve the quality of calculations of adjustment coefficients and identify the shortcomings of existing construction methods.

**Keywords:** PLL, FPGA, tuning frequency, GONG, reference frequency.

Современная телекоммуникационная сеть играет важную роль в нашей жизни, обеспечивая передачу данных и связь между различными устройствами. Одним из ключевых аспектов работы такой сети является точная синхронизация частоты, которая обеспечивает согласованность передаваемых сигналов.

Синхронизация обеспечивает согласованность времени и частоты между отправителем и получателем данных. Это необходимо для правильной интерпретации и восстановления информации, передаваемой по сети. Без синхронизации данные могут быть искажены или потеряны, что приведет к ошибкам и неправильной работе системы [1].

Фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) в телекоммуникационном оборудовании используется для обеспечения точной синхрониза-

ции частоты между передающим и принимающим устройствами. При передаче данных между различными устройствами необходимо, чтобы источник и приемник работали на одной и той же частоте. Фазовая автоподстройка частоты позволяет установить и поддерживать точное соответствие частоты между устройствами, что позволяет эффективно передавать и принимать данные [2].

Система ФАПЧ содержит измерительное устройство с счетчиками на входе и объект регулирования, выход которого подключен к управляемому осциллятору. ФАПЧ состоит из фазового детектора и петлевого фильтра. Задача фазового детектора – сравнивать фазу эталонного сигнала и выходного сигнала генератора и создает ошибку фазы (ошибка частоты) в зависимости от разности фаз. Фазовый детектор может быть реализован различными способами, например, с помощью сумматоров и регистров сдвига. В системе также присутствует фильтр низких частот (ФНЧ), который сглаживает ошибку фазы, полученную от фазового детектора, и удаляет высокочастотные компоненты. ФНЧ позволяет поддерживать стабильность системы и предотвращает колебания или быстрые изменения частоты, где преобразуется в сигнал, способный управлять генератором и корректировать в зависимости от фазовой ошибки его частоту. Система ФАПЧ позволяет подстраивать и стабилизировать частоту генератора таким образом, чтобы она совпадала с эталонной частотой, она широко применяется в различных областях, включая коммуникационные системы, цифровую обработку сигналов. Различают аналоговые, цифровые, полностью цифровые, системы с накачкой заряда. В аналоговых системах на всех этапах преобразования используется аналоговый сигнал. В качестве фазового детектора обычно используют аналоговый умножитель, в качестве петлевого фильтра – фильтр нижних частот, а в качестве осциллятора – генератор, управляемый напряжением. В цифровых системах используются цифровые фазовые детекторы, построенные на логических элементах или на триггерах, в полностью цифровых системах на всех этапах преобразования используется цифровой код, как для описания величины фазовой ошибки и для регулирования частоты осциллятора [3].

На схеме электрической структурной изображены основные функциональные части изделия и основные взаимосвязи между ними. Схема электрическая структурная представлена на рис. 1.

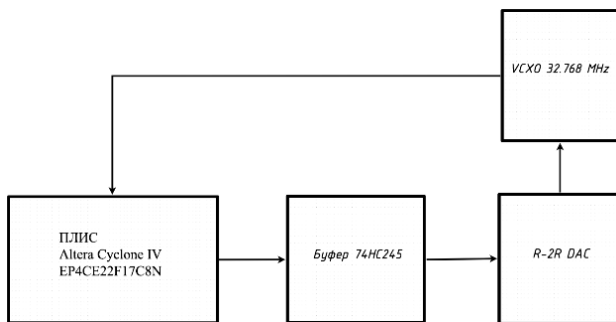


Рис. 1. Схема электрическая структурная системы «ФАПЧ»

Для построения схемы электрической структурной системы «ФАПЧ» нам необходимы следующие компоненты:

- FPGA Altera Cyclone IV EP4CE22F17;
- восьмиканальный двунаправленный приемопередатчик от Texas Instruments 74HC245;
- R – 2R DAC для преобразования цифрового сигнала с ПЛИС в аналоговый для VCXO;
- Кварцевый генератор, управляемый напряжением (VCXO) с резонансной частотой 32,768 МГц.

Для управления подстройки частоты и создании управляющего сигнала для VCXO используется ПЛИС, для которой разработка программного обеспечения будет происходить в среде разработки Quartus II.

Управляющим устройством в ПО системы является регулятор, в данном случае ПИД-регулятор, задачей которого является сравнивать текущее значение с установленным и выдавать управляющий сигнал.

Для расчета коэффициентов регулятора в случае подстройки частоты (частотной регуляции) используется методика настройки ПИД-регулятора с использованием метода Циглера – Никольса, реализация которого будет происходить в ПЛИС. А также выполнять подсчет фронтов частоты прямого входа и производить подсчет фронтов частоты обратного входа [4].

Сначала происходит настройка пропорциональной составляющей, коэффициенты интегральной и дифференциальной составляющих устанавливаем равными нулю и повышаем  $K_p$  до тех пор, пока система

не начнет колебаться или иметь затухающие колебания. Измерив период колебаний системы, получаем значение  $T$ . Коэффициенты регулятора получаем по формулам:

$$K_p = 0,6 \cdot K_{p1}, \quad (1)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T} \cdot 2 \cdot dt, \quad (2)$$

$$K_D = K_p \cdot \frac{T}{8}. \quad (3)$$

Расчет коэффициентов регулятора будет производиться в ПЛИС по представленным формулам (1)–(3). В таблице приведены коэффициенты для различных состояний системы.

Коэффициенты регулятора

Состояние системы	$K_p$	$K_i$	$K_D$
Система выходит из равновесия, регулируемая частота становится меньше требуемой	2	2	2
Регулируемая частота начинает выравниваться	1	3	1
Регулируемая частота выровнялась	0	3	1
Система опять находится в равновесии	0	3	0

Сигнал с опорной частоты поступает на модуль, который будет производить подсчет частоты, количество импульсов за единицу времени (в начальном состоянии 1 с), полученные данные будут формировать частоту работы регулятора. Работа регулятора определяется частотой, которая заключается в поиске оптимального значения погрешности и времени захвата; при выставлении максимального времени схождения погрешность будет минимальной. Погрешность определяется частотой опроса счетчиков, в начальном состоянии время опроса составляет 1 с с последующим увеличением времени в 2 раза. Причиной увеличения времени опроса является недостаточная погрешность, которая выходила бы за границы  $\pm 100$  ppm.

Временная диаграмма работы ПО системы «ФАПЧ» представлена на рис. 2. На ней показана работа регулятора в ситуациях отклонения частоты, когда обе частоты совпадают и подстройка частоты при ее отклонении:

1) обе частоты совпадают, регулирование не требуется;

2) системы выходит из равновесия, регулируемая частота становится меньше требуемой. Коэффициент  $P = 2$ , коэффициент  $I = 2$ , коэффициент  $D = 2$ ,  $err = 2$ ,  $prevert = 0$ ,  $out(f) = 22$ ;

3) регулируемая частота начинает выравниваться.  $P = 1, I = 3, D = 1, \text{err} = 1, \text{prevErr} = 2, \text{out}(f) = 17$ ;

4) регулируемая частота выровнялась.  $P = 0, I = 3, D = 1, \text{err} = 0, \text{prevErr} = 1, \text{out}(f) = 14$ ;

5) система опять находится в равновесии.  $P = 0, I = 3, D = 0, \text{err} = 0, \text{prevErr} = 0, \text{out}(f) = 9$ .



Рис. 2. Временная диаграмма работы ПО системы «ФАПЧ»

### Библиографический список

1. Цифровые и аналоговые системы передачи: учеб. для вузов / В.И. Иванов [и др.]; под ред. В.И. Иванова. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2003. – 232 с.
2. Матюхин А.Ю., Курицын С.А. Многоканальные системы передачи. – СПб., 2013. – С. 398.
3. Левин Л.С., Плоткин М.А. Основы построения цифровых систем передачи. – М.: Связь, 1975.
4. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM). – М.: Радио и связь, 2000.

### Сведения об авторе

**Равилов Арсений Данилович** – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-23-1м, г. Пермь, e-mail: arс-13@mail.com

**В.Д. Евфименко**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ЖГУТОВ**

Рассматриваются аспекты процесса разработки программно-аппаратного комплекса для проверки телекоммуникационных жгутов. Разработка представляет собой универсальный комплекс с графическим интерфейсом, способный обнаруживать неисправности жгутов, передавать данные на сервер для логирования и маркировать успешно протестированные жгуты. Актуальность разработки обусловлена доступностью, легкостью настройки и использования комплекса.

**Ключевые слова:** проверка жгутов, esp8266, программа, C#, приложение, программно-аппаратный комплекс, тестирование.

**V.D. Evfimenko**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **DEVELOPMENT OF A SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX FOR TESTING TELECOMMUNICATION HARNESSSES**

This article examines aspects of the development process of a software-hardware complex for checking telecommunication harnessses. The main focus is on creating a universal complex with a graphical interface capable of detecting malfunctions, transmitting data to the server for logging and labeling successfully tested harnessses. The relevance of the research is due to the need for high-quality solutions in the field of cable testing, and the novelty of the work is manifested in the accessibility, ease of configuration and use of the developed complex.

**Keywords:** harness testing, esp8266, program, C#, application, software-hardware complex, testing.

В сформированном техническом задании на разработку программно-аппаратного комплекса (ПАК) тестирования телекоммуникационных жгутов было восемь пунктов, шесть из которых будут рассмотрены далее:

1. Тестирование. Разрабатываемое устройство должно проверять электрические телекоммуникационные кабели на целостность и отсутствие замыканий (РС/WHMA-A-620 [1]), а также на падение. Устройство сканирует каждый контакт в кабеле, проверяя наличие электрического соединения, а также проводит проверку на замыкание между различными цепями.

2. Защита цепей. Тестирующее оборудование должно быть защищено от скачков напряжений, вызванных импульсами статического напряжения или кратковременными замыканиями на источники питания до 12 В.

3. Поддерживаемые кабели. Комплекс должен иметь возможность проверять несколько видов жгутов для подключения к транспортному средству терминалов «ЭРА-ГЛОНАСС» [2, 3] и сетевые кабели (TIA/EIA-568 A, B, Cross).

4. Универсальность. Устройство должно быть спроектировано таким образом, чтобы его можно было быстро сконфигурировать для проверки новых типов жгутов. Должна поддерживаться проверка до 32 цепей проводов включительно.

5. Обработка результатов. После проверки кабеля устройство должно отправлять промежуточные результаты windows-приложению. Приложение должно отображать информацию о цепях кабеля в формате: «номер контакта», «имя контакта», «цвет провода», «проверяется/не проверяется», и «результат». Если в тестируемых цепях обнаруживаются проблемы, информация об этом тут же отображается в соответствующих строках. Работать данное приложение должно на платформе .NET.

6. Подключение к Wi-Fi и простота настройки. Для взаимодействия устройства и windows приложения должна использоваться общая сеть Wi-Fi, что даст возможность использовать устройство в беспроводном режиме (помимо шнура питания). Для быстрой конфигурации подключения к этой сети устройство должно иметь соответствующий интерфейс.

Устройство (стенд) и windows-приложение получили названия «СВТ-1» и «CableTester» соответственно. Вместе они образуют программно-аппаратный комплекс «ИМПУЛЬС-1», взаимодействие основных составляющих которого показано на рис. 1.



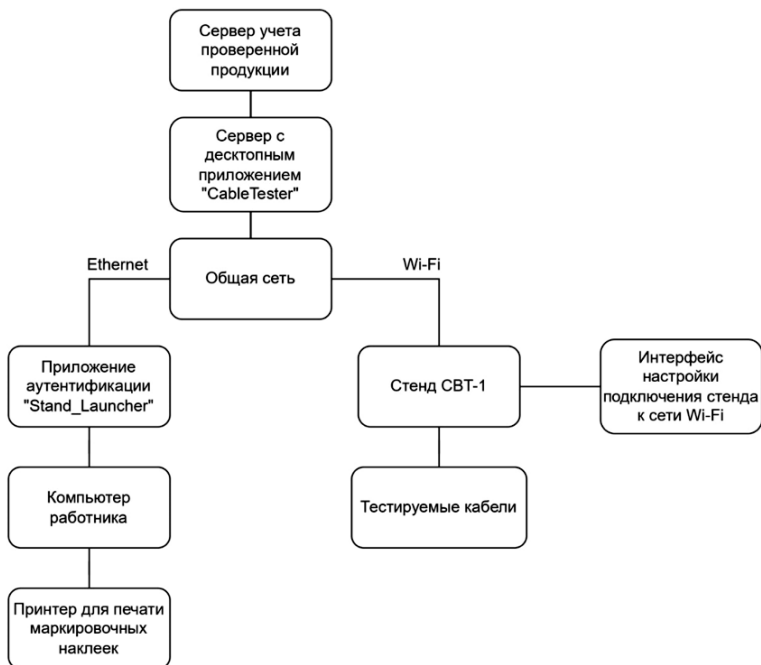


Рис. 1. Взаимодействие составляющих ПАК «ИМПУЛЬС-1»

Стандарт IPC/WHMA-A-620 предписывает методы и требования к производству кабелей, проводов и жгутов в сборе. Стандарт описывает материалы, методы, испытания и критерии приемлемости для производства обжимных, механически закрепленных и паяных соединений, а также связанные с этим действия по сборке кабелей и жгутов [4].

Процесс тестирования можно условно разделить на визуальный осмотр, электрические и механические испытания. Рассмотрим положения данного стандарта, которые применены в стенде СBT-1:

1. Тест на наличие контактов. Подтверждает, что электрическое соединение между двумя или более точками соответствует сборочным чертежам. Измерение производится от контакта к контакту для каждого провода кабеля. Для допустимого падения напряжения может быть установлен пороговый уровень. Измеренное значение, меньшее этого, оценивается как проходное.

2. Тест на замыкания. Обнаруживает непреднамеренные соединения, такие как неправильное подключение или обрыв провода, препятствующие правильному функционированию электрической системы. Тест на замыкания обычно следует за тестом на наличие контактов, чтобы обнаружить любые нежелательные соединения между двумя или несколькими контрольными точками. Тест на замыкания может быть проведен одновременно с измерением наличия контактов.

Для проектирования устройства была выбрана САПР Altium Designer [5] – это система, позволяющая реализовывать проекты электронных устройств на уровне схемы с последующей передачей информации изготовителю печатной платы. В ней будет произведена трассировка платы с электронными компонентами и платы с коннекторами для подключения жгутов.

За управление стендом и работу с беспроводной сетью должен отвечать один микроконтроллер. Лучшими микроконтроллерами с поддержкой Wi-Fi с точки зрения простоты использования, цены и доступности к покупке малыми партиями являются последние решения от компании Espressif – ESP8266 и ESP32 [6]. Оба контроллера поддерживают Wi-Fi и имеют версии готовых плат с обвязкой, что упрощает процесс проектирования. На таких платах имеются все необходимые подтяжки резисторами для инициализации модулей, фильтрующие конденсаторы питания, разъемы MicroUSB/TypeC для питания и загрузки прошивок, USB-TTL преобразователи для общения между COM-портом компьютера и UART-интерфейса модуля, линейные стабилизаторы напряжения для понижения входного напряжения питания до требуемых 3.3В и защитные диоды от обратного напряжения в цепи питания.

После анализа микроконтроллеров было принято решение использовать ESP8266 в связи с его меньшим энергопотреблением. Из минусов данного модуля можно отметить небольшое количество контактов, что может затруднить управление периферией. Данный вопрос решается использованием расширителей GPIO или сдвиговыми регистрами. При выборе ESP32 их также пришлось бы использовать, так как минимальное требуемое количество входов/выходов – 64 (32 выхода для отправки и 32 входа для приема тестовых импульсов).

Из плюсов можно отметить то, что стандарт USB 2.0 [7] может выдавать максимальный ток 0,5 А, чего будет достаточно, чтобы использовать его для питания данного микроконтроллера и всего стенда.

Оптимизация энергопотребления стенда обеспечит его работу без необходимости подключения к другим источникам питания. Как говорилось ранее, контроллер ESP8266 не имеет достаточного количества выводов, поэтому для расширения их числа используем serial-to-parallel и parallel-to-serial сдвиговые регистры.

Тестирующий сигнал, проходя рабочий путь, может подвергнуться затуханию, и на входе в контроллер должно логическое напряжение 3,3 В может быть не достигнуто. Для восстановления уровня сигнала будем использовать компараторы с опорным напряжением для сравнения 1,5 В. Для защиты электронных схем и радиоаппаратуры от перенапряжения и скачков напряжения используются такие эффективные радиоэлементы, как диодный TVS предохранитель, известный также как супрессор или защитный диод. Его будет достаточно, чтобы защитить элементы схемы от кратковременных замыканий различного рода. Для еще большего обеспечения надежности будем использовать схему эмиттерного повторителя на pnp-транзисторе, открывающийся до срабатывания защитного диода. Это позволит более точно держать напряжение на уровне 3,3 В.

После построения электрической принципиальной схемы, создания библиотеки компонентов, трассировки двух печатных плат и разработки корпуса, стенд принял вид, показанный на рис. 2.

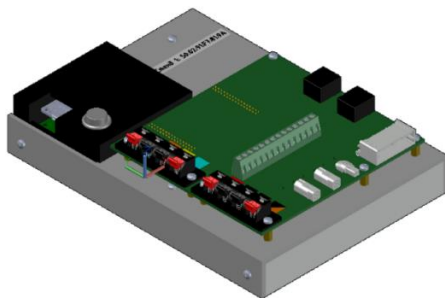


Рис. 2. Внешний вид разработанного стенда

Переходя к вопросам программирования, определим, что в качестве IDE будем использовать Visual Studio Code с расширением PlatformIO, поддерживающим множество микроконтроллеров, в том числе и ESP8266. Взаимодействие основных функций, реализуемых в контроллере, показаны на рис. 3:

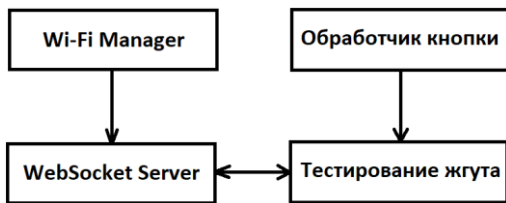


Рис. 3. Взаимодействие основных функций, реализуемых в контроллере

В качестве языка программирования для клиентского приложения был выбран C# с технологией WPF (Windows Presentation Foundation), которая является частью экосистемы платформы .NET и представляет собой подсистему для построения графических интерфейсов.

В графическом интерфейсе были реализованы разделы приложения «Подключение», «Тестирование» и «Настройки». Внутренняя структура приложения была написана таким образом, чтобы добавление новых видов кабелей сводилось к написанию функции-списка. Каждый объект в этом списке представляет отдельный провод жгута, содержащий информацию о его имени, цвете, адресе ожидаемого результата в матрице из значений и расположении провода в жгуте. Внешний вид раздела «Тестирование» представлен на рис. 4.

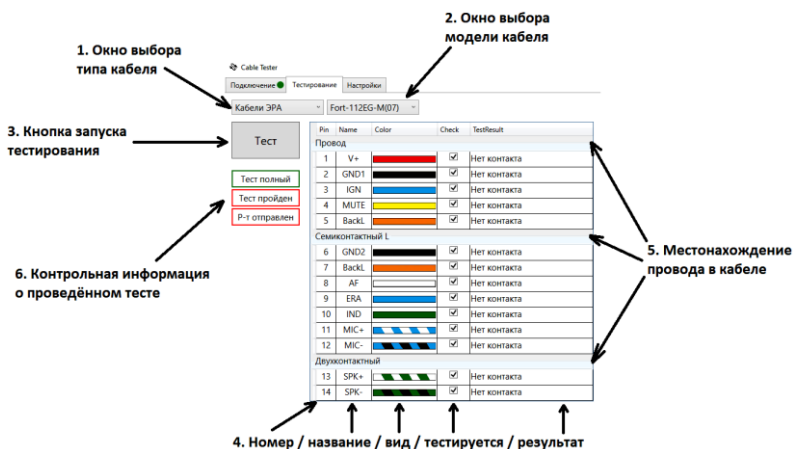


Рис. 4. Интерфейс раздела «тестирование»

В результате проведенной работы был осуществлен переход от теории к практике: проведено конструирование стенда и разработка соответствующего программного обеспечения, обеспечивающего его полноценную работу. Также было разработано приложение, работающее в комплексе со стендом. Разработка может найти широкое применение в ряде отраслей, где необходимо проведение быстрого и надежного тестирования кабелей.

### **Библиографический список**

1. IPC/WHMA-A-620. Requirements and Acceptance for Cable and Wire Harness Assemblies. – Arlington Heights, Illinois, 2002. – 16 p.

2. ЭРА-ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. – URL: <https://aoglonass.ru/> (дата обращения: 02.12.2023).

3. EIA/TIA Standard Cat5e and Cat6 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.comms-express.com/infozone/article/eiatia-standard-category-5e-and-cat6-comms-express/> (дата обращения: 02.12.2023).

4. Tarvainen A. Design of wire harness test system. – Oulu: Oulu University of Applied Sciences, 2021. – 46 p.

5. Altium Designer [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.altium.com/ru/> (дата обращения: 02.12.2023).

6. ESP8266 Modules [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266\\_hardware\\_design\\_guidelines\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266_hardware_design_guidelines_en.pdf) (дата обращения: 02.12.2023).

7. USB 2.0 Specification [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.usb.org/document-library/usb-20-specification> (дата обращения: 02.12.2023).

### **Сведения об авторе**

**Евфименко Василий Дмитриевич** – магистрант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. ТК6-23-1м, г. Пермь, e-mail: [evfimenko.vas@gmail.com](mailto:evfimenko.vas@gmail.com)

**И.А. Пугачев, А.Н. Хромцова, Н.А.Теплых**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ЧЕБЫШЕВА**

Исследуется построение модели активного фильтра Чебышева. Проведено сравнение табличных и смоделированных значений фильтра Чебышева, удовлетворяющий поставленным требованиям работы. Построены модели фазо-частотной характеристики и амплитудно-частотной характеристики. Данную работу можно использовать в качестве лабораторной работы на тему «Активные фильтры».

**Ключевые слова:** активный фильтр, фильтр нижних частот, фильтр верхних частот, амплитудно-частотная характеристика.

**I.A. Pugachev, A.N. Khromtsova, N.A.Teplykh**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **SIMULATION OF AN ACTIVE CHEBYSHEV FILTER**

This article explores the construction of a model of an active Chebyshev filter. The comparison of tabular and modeled values of the Chebyshev filter satisfying the set work requirements is carried out. The models of amplitude-frequency response and phase-frequency characteristic constructed. This work can be used as a laboratory work on the topic "Active filters".

**Keywords:** active filter, low-pass filter, high-pass filter, amplitude-frequency response.

Электрический фильтр – это устройство, которое практически не ослабляет спектральные составляющие сигнала в заданной полосе частот (полоса пропускания) и значительно ослабляет все спектральные составляющие за пределами этой полосы (полоса подавления) [1–3].

По взаимному расположению полосы пропускания и задержки различают фильтр нижних частот (ФНЧ), фильтр верхних частот (ФВЧ), полосовые фильтры (ПФ) и блокирующие фильтры.

Фильтр Чебышева в полосе пропускания (фильтр Чебышева I рода) и подавления (фильтр Чебышева II рода) – один из типов линейных

аналоговых или цифровых фильтров, отличительной особенностью которого является более крутое снижение амплитудно-частотной характеристики и значительные колебания амплитудно-частотной характеристики на частотах полос пропускания (фильтр Чебышева I рода) и подавления (фильтр Чебышева II рода), чем другие типы фильтров.

Фильтры Чебышева обычно используются там, где требуется использовать фильтр малого порядка для обеспечения требуемых характеристик частотной характеристики, в частности, хорошего подавления частоты из полосы подавления, и в то же время плавность частотной характеристики на частотах полосы пропускания и подавления не так важна.

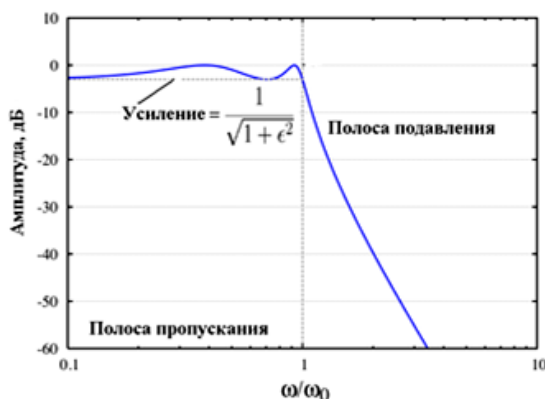


Рис. 1. Полоса пропускания фильтра Чебышева

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра Чебышева I рода четвертого порядка с  $\omega_0 = 1$  и  $\varepsilon = 1$  – это более часто встречающаяся модификация фильтров Чебышева. Амплитудно-частотная характеристика такого фильтра  $n$ -го порядка задается следующим выражением:

$$G_n(\omega) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)}},$$

где  $\varepsilon$  – показатель пульсаций,  $\omega_0$  – частота среза, а  $T_n(x)$  – многочлен Чебышева  $n$ -го порядка.

В полосе пропускания такого фильтра видны пульсации, амплитуда которых определяется индикатором пульсаций. В полосе пропускания полиномы Чебышева принимают значения от 0 до 1, поэтому коэффициент усиления фильтра принимает значения от максимального  $G = 1$  до минимального  $G = 1/\sqrt{1+\varepsilon^2}$ . На частоте среза  $\omega_0$  коэффициент усиления имеет значение  $1/\sqrt{1+\varepsilon^2}$ , а на частотах выше нее продолжает уменьшаться с увеличением частоты.

В случае аналогового электронного фильтра Чебышева его порядок равен количеству реактивных составляющих (например, катушек индуктивности), используемых при его реализации. Колебания полосы пропускания задаются в децибелах. Неравномерность полосы пропускания задается в децибелах как

$$20\log_{10} \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2}}.$$

График амплитудно-частотной характеристики фильтра Чебышева пятого порядка показан на рис. 2.

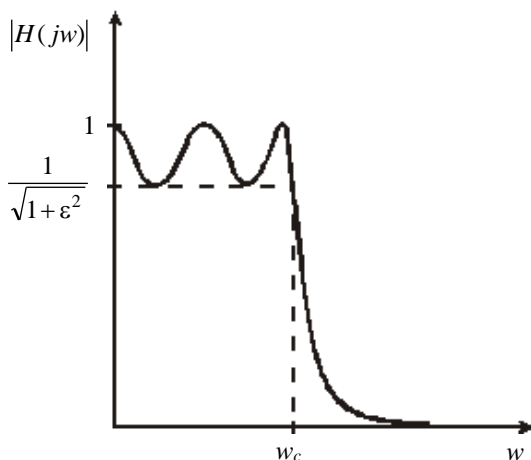


Рис. 2. АЧХ фильтра Чебышева пятого порядка

В полосе пропускания частотная характеристика имеет равномерной характер.



На интервале  $-1 \leq \omega \leq 1$  имеется  $n$  точек, в которых функция  $|H(j\omega)|^2$  достигает максимального значения, равного 1, или минимального значения, равного  $1/(1+\varepsilon^2)$ . Если  $n$  нечетно,  $|H(j0)|^2 = 1$ , если  $n$  четно,  $|H(j0)| = 1/\sqrt{1+\varepsilon^2}$ . Значение АЧХ фильтра Чебышева на частоте среза равно

$$H(j\omega_c) = \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2}}.$$

При  $\omega \geq 1$  функция  $|H(j\omega)|^2$  монотонно убывает и стремится к нулю. Параметр  $\varepsilon$  определяет неравномерность АЧХ фильтра Чебышева в полосе пропускания:

$$A_{\max} = 10 \lg(1 + \varepsilon^2).$$

### Моделирование фильтра Чебышева

Таблица 1

Расчетные данные фильтра Чебышева, пульсации 0,5 дБ

		Фильтр Чебышева					
$f_{3дБ}$ , Гц	Число полюсов	время нарастания, С (от 0 до 90 %)	выброс, %	время установления, с		начало полосы подавления, дБ $f = 2f_c$	ослабление, дБ $f = 10f_c$
				до 1 %	до 0,1 %		
1,39	2	0,4	11	1,1	1,6	8	37
1,09	4	0,7	18	3,0	5,4	31	89
1,04	6	1,1	21	5,9	10,4	54	141
1,02	8	1,4	23	8,4	16,4	76	193

Таблица 2

Расчетные данные фильтра Чебышева, пульсации 2,0 дБ

		Фильтр Чебышева					
$f_{3дБ}$ , Гц	Число полюсов	время нарастания, С (от 0 до 90 %)	выброс, %	время установления, с		начало полосы подавления, дБ $f = 2f_c$	ослабление, дБ $f = 10f_c$
				до 1 %	до 0,1 %		
1,07	2	0,4	21	1,6	2,7	15	44
1,02	4	0,7	28	4,8	8,4	37	96
1,01	6	1,1	32	8,2	16,3	60	148
1,01	8	1,4	34	11,6	24,8	83	200

Фильтры Чебышева (рис. 3) имеют секции, настроенные на различную частоту среза. Для определения этих частот коэффициенты нормализации приведены в табл. 1, 2.

$$f_{cp1} = f_{cp} \cdot f_H.$$

Таким образом, значения  $R$  и  $C$  секции фильтра Чебышева могут быть рассчитаны с учетом нормализующих коэффициентов следующим образом:

$$RC = \frac{1}{2\pi f_{cp} \cdot f_H}.$$

Частота среза  $f_{cp} = 1,6389140487463325$  kHz при  $R = 30$ ,  $C = 3,237$  nF. Округлим до тысячных для удобства  $f_{cp} \approx 1,639$ .

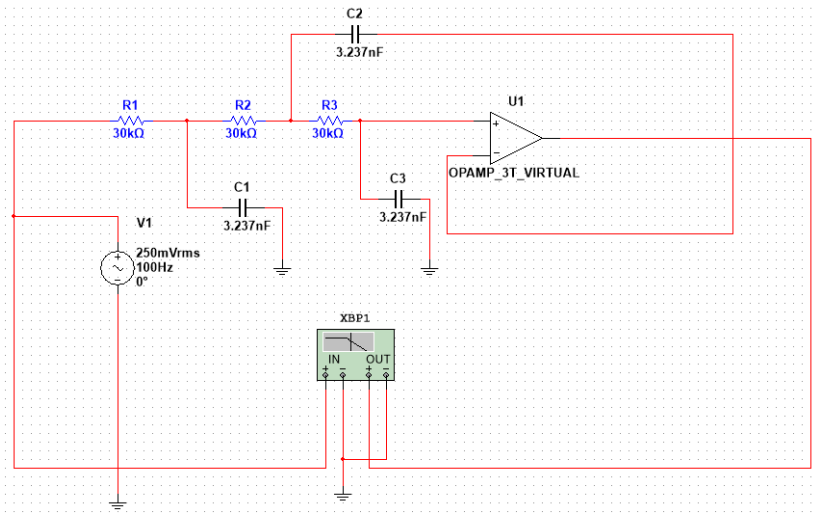


Рис. 3. Модель ФНЧ

После установки приборов и запуска моделирования в окне бode-плоттера отрисовывается частотная характеристика исследуемой модели (рис. 4).

Переключившись на вкладку Phase в окне плоттера, вы можете увидеть фазочастотную характеристику (ФЧХ) модели (рис. 5).

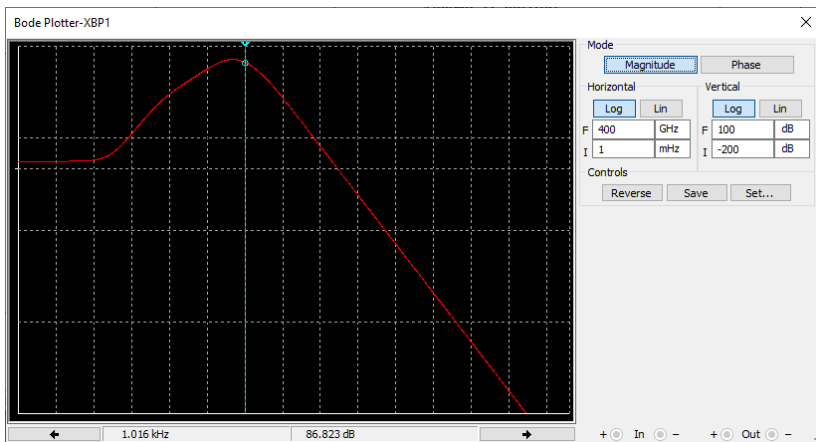


Рис. 4. АЧХ модели

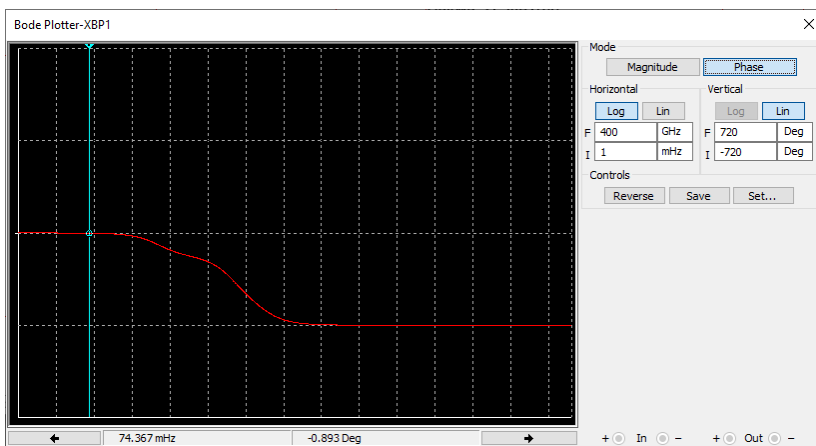


Рис. 5. ФЧХ модели

В результате моделирования показано отличие расчетных результатов от полученных, на рис. 4 мы видим, что частота среза отличается от расчетной на 0,623 kHz.

Результаты проделанной работы могут быть использованы в учебном процессе для создания лабораторной работы по электронике.

### **Библиографический список**

1. Хорвиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. – 2014.
2. Трофименко В.Н. Цифровая обработка сигналов: методическое пособие. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник. – 3-е изд., доп. – М.: Высшая школа, 2000.

### **Сведения об авторах**

**Пугачев Иван Александрович** – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. АТ-21-1б, г. Пермь, e-mail: pugachovivan1@mail.ru

**Хромцова Арина Николаевна** – студент Пермского национально-исследовательского политехнического университета, гр. АТ-21-1б, г. Пермь, e-mail: arina-khrom@yandex.ru

**Теплых Никита Александрович** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ-21-1б, г. Пермь, e-mail: prostoy155@gmail.com

**И.И. Миков, А.И. Посягин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТНОСТИ И ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ С ПОМОЩЬЮ ПОДВИЖНЫХ АГЕНТОВ**

Исследуется возможность улучшения эффективности исследования местности при помощи нескольких подвижных агентов и обмена данными между ними. Для этого был разработан макет подвижного агента и система общения между агентами. Рассматривается разработка агента, система мониторинга и управления, а также система передачи данных. В результате исследования были предложены два метода исследования местности и построения карты, сделаны выводы о их эффективности.

**Ключевые слова:** подвижный агент, ориентирование на местности, исследование местности, построение карты, обмен данными.

**I.I. Mikov, A.I. Posyagin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **DEVELOPMENT OF METHODS FOR TERRAIN EXPLORATION AND MAP CONSTRUCTION USING MOBILE AGENTS**

This article explores the possibility of improving the effectiveness of terrain exploration using several mobile agents and data exchange between them. For this purpose, a mock-up of a mobile agent and a communication system between agents were developed. The development of an agent, a monitoring and management system, as well as a data transmission system are being considered. As a result of the study, two methods of terrain exploration and map construction were proposed, and conclusions were drawn about their effectiveness.

**Keywords:** mobile agent, terrain orientation, terrain exploration, map construction, data exchange.

Одной из основных проблем сегодня является экологическое загрязнение. Загрязненные территории, такие как водоемы, пляжи, леса и даже улицы городов, являются результатом невежества людей и

наносят вред окружающей среде. Статистика показывает, что всего 1–2 % населения занимается сбором отходов из-за трудоемкости и непопулярности данной профессии [1]. Однако научно-технический прогресс предлагает эффективные решения этой проблемы, включая создание роботов для очистки территорий от мусора [2]. Несколько аналогичных решений уже имеются, например, автоматический пылесос [3] или робот для уборки улиц [4], однако устройства для больших и сложных территорий, таких как лес или степь, пока не разработаны. Поэтому было принято решение создать проект по разработке роботов для очистки этих территорий от загрязнений. Была предложена гипотеза, что будет более эффективно, если каждый из роботов будет выполнять часть этой задачи, чтобы распределить нагрузку между всеми машинами, вместо создания универсального устройства. Поэтому была предложена следующая модель: часть компактных роботов выполняет задачу поиска, определения местоположения мусора, построения карты местности, а другая часть роботов, уже более крупная, будет собирать отходы по сформированной карте, что позволит не тратить энергию на лишние перемещения крупных деталей, например, захватов для сбора мусора, на этапе разведки, в то же время это снизит возможный ущерб при передвижении тяжелых роботов по исследуемой территории. Для проверки этой гипотезы требуется большая исследовательская база, на основе которой можно будет судить о качественных характеристиках предложенной модели. Таким образом, было решено провести ряд исследований, одним из которых было исследование методов построения карты местности с помощью подвижных агентов без центральной системы управления. Для проведения подобных исследований было решено разработать прототип с минимальным набором функций от планируемой системы.

На первом этапе был проведен подробный обзор существующих систем с аналогичными функциями. Этот этап был необходим для формулировки задачи, выбора критериев оценки, целевой функции для будущей реализации минимально необходимого функционала нашей модели. Также благодаря этому шагу можно выявить различные уязвимости и недостатки различных способов реализации устройств, которые также должны быть учтены. Следующим шагом была реализация прототипа для проведения необходимых исследований. Этот этап включает обзор доступной аппаратной базы на рынке, обзор существующего программного обеспе-

чения, проектирование архитектуры устройства и программного кода, разработку протокола «коммуникации» между устройствами, сборку, отладку устройств, проведение исследования и анализ результатов. С учетом выбора децентрализованной системы управления также были предложены методы исследования местности, позволяющие сократить время на построение карты с учетом наличия нескольких подвижных агентов.

Заключительным этапом является подведение итогов исследования и определение роли исследования в будущем проекте.

В ходе работы был проведен детальный обзор способов передачи данных между устройствами, таких как радиомодуль, Wi-Fi и Bluetooth. В результате анализа был сделан выбор в пользу Wi-Fi технологии благодаря хорошему соотношению максимальной дальности передачи информации и энергопотребления. Далее предстоял выбор соответствующего программно-логического устройства, которое должно иметь возможность обрабатывать входящие сигналы с базы передвижного устройства через интерфейс UART, обладать достаточным объемом памяти, поддерживать технологию Wi-Fi и иметь низкую стоимость. В результате анализа характеристик и стоимости был выбран микроконтроллер Nodemcu Lua Wi-Fi на Esp8266 как наиболее подходящий вариант по соотношению цена/качество.

Для обмена данными между передвижными агентами был выбран протокол http и использована клиент-серверная архитектура. На основе показаний датчиков микроконтроллер, управляющий платформой, формирует строку и передает ее по UART на плату, отвечающую за хранение карты и обмен информацией с другими подвижными агентами. Для постоянного обмена данными между агентами был выбран синхронный автомат из трех агентов, в котором один из агентов принимает роль сервера в течение минуты, а затем передает эту роль одному из двух других агентов через 20 с, обеспечивая постоянный обмен данными в системе. Для обмена данными карты был разработан формат передаваемых сообщений.

Отдельно была разработана система мониторинга для отслеживания результатов исследования, состоящая из отдельного микроконтроллера node mcu, который собирает данные и устанавливает начальные конфигурации, и сервера, который отображает исследованную территорию каждым агентом. Также был разработан эмулятор контроллера передвижной базы для отладки оптимальной работы устройств по отдельности. При

исследовании местности важно акцентировать внимание на возможных алгоритмах исследования местности, отобрать наиболее подходящие. Это важная часть исследования, поскольку правильно выбранные алгоритмы позволяют оптимизировать временные затраты, а также повысить уровень производительности нашей системы.

В ходе работы были отобраны наиболее подходящие алгоритмы. Одним из таких алгоритмов является «поиск центра местности». Схема представлена на рис 1.



Рис. 1. Поиск центра местности

Начальная точка подвижного агента происходит из левого верхнего угла, координаты которого  $(0; 0)$ , главная цель – найти центр местности. Все устройства будут также искать центр. В итоге все подвижные агенты встретятся в центре, произойдет обмен данными об исследованной местности, карте, далее они будут исследовать углы местности. К преимуществам данного алгоритма можно отнести гарантированный обмен данными в центре, а также траектории движения передвижных агентов не пересекаются. К отрицательным сторонам можно отнести вероятность появления лишних шагов.

Вторым предложенным алгоритмом является «спираль», именно такое название дано, поскольку вектор исследования местности подвижного агента направлен вдоль контура исследуемой местности, после чего направление вектора сместится вдоль контура оставшейся



неисследованной местности в центре. На рис. 2 представлена часть пройденного пути подвижным агентом.

Для выявления наиболее подходящего алгоритма для исследования местности был разработан симулятор, соответствующий следующим параметрам:

1. Исследуемая местность 10 на 10.
2. Было выбрано два алгоритма: «поиск центра местности» и «спираль». По заданному алгоритму исследовалась местность подвижными агентами в разных количествах: один, два и три устройства.
3. Управление подвижными агентами осуществлялось с помощью командной консоли.
4. Сбор данных производился благодаря накоплению данных на сервере в ходе симуляции.

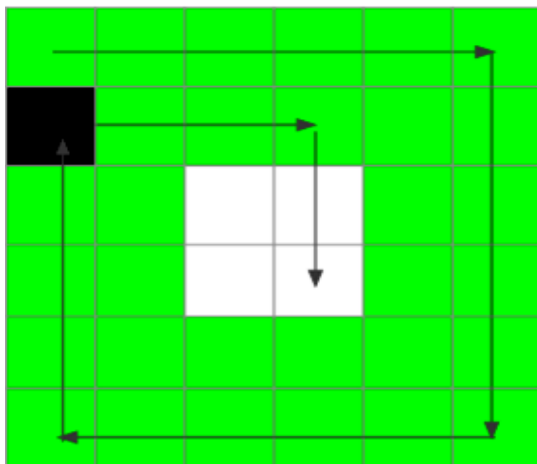


Рис. 2. Алгоритм «спираль»

В ходе эксперимента по исследованию алгоритма «поиск центра местности» были получены следующие результаты: в табл. 1 отображено количество шагов, пройденных каждым агентом по отдельности и в совокупности, там же представлено время, потраченное на исследование карты в зависимости от количества подвижных агентов. Также результаты использования алгоритма «Поиск центра местности» отображены в виде графика на рис. 3.

Таблица 1

Количество шагов и время, затраченные на исследование местности для алгоритма «поиск центра местности»

n (количество агентов)	1		2		3	
ID	1	1	2	1	2	3
Количество шагов	51	35	39	34	22	24
Сумма шагов	74			80		
Время, с	453		257,5		216	

В ходе эксперимента была выявлена ярко выраженная тенденция уменьшения временных затрат при увеличении количества подвижных агентов. При этом заметно увеличение суммарно пройденных шагов. Уменьшение временных затрат связано с наличием обмена данными между устройствами, которое позволяет исследовать карту быстрее.

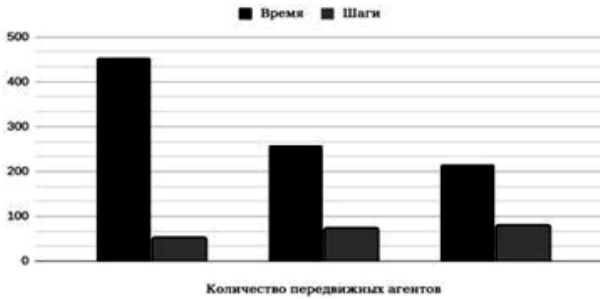


Рис. 3. Результаты использования алгоритма «поиск центра местности»

В табл. 2 продемонстрированы результаты исследования алгоритма «Спираль»: количество пройденных шагов каждым агентом по отдельности и в совокупности, а также отражено время исследования местности в зависимости от количества подвижных агентов.

Таблица 2

Количество шагов и время, затраченные на исследование местности для алгоритма «Спираль»

n (количество агентов)	1		2		3	
ID	1	1	2	1	2	3
Количество шагов	51	36	36	21	27	18
Сумма шагов	72			66		
Время, с	298		296		179	

На рис. 4 в виде графика также показаны результаты исследования алгоритма «Спираль».

При исследовании алгоритма «спираль» можно увидеть аналогичную тенденцию, как при исследовании алгоритма «поиск центра». Можно отметить, что при использовании двух подвижных агентов временные затраты уменьшились незначительно, но при внедрении третьего устройства временные затраты уменьшились почти вдвое. Так происходит, поскольку при встрече двух подвижных агентов их траектории пересекаются, что влечет за собой дополнительные шаги, следовательно, временные затраты.

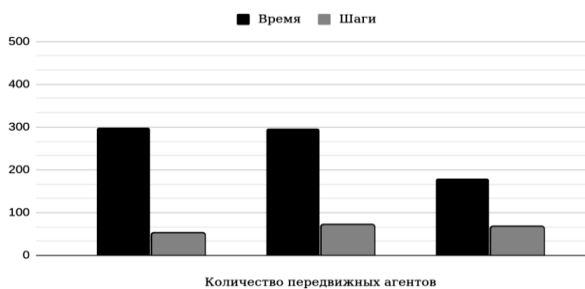


Рис. 4. Результаты использования алгоритма «спираль»

По окончании проведения исследований с целью выявить наиболее подходящий алгоритм по целевой функции был выбран лучший – «спираль». Именно этот алгоритм, по сравнению с алгоритмом «поиск центра местности», оказался наиболее подходящим для использования. Преимущества, которые можно отметить в сравнении с алгоритмом «поиск центра местности»: временные затраты находились на низком уровне, вне зависимости от количества участвующих подвижных агентов, а также количество пройденных шагов также оставалось наименьшим. Исключение составляет использование одного подвижного агента – в этом случае количество шагов совпадает с использованием одного устройства в алгоритме «поиск центра местности».

Таким образом, при сопоставлении результатов исследования алгоритма «поиск местности» и «спираль» было выявлено явное превосходство второго алгоритма. Используя его, можно сократить время исследования местности, а также уменьшить количество пройденных

шагов подвижными агентами. В результате проведенных исследований был выбран наиболее подходящий алгоритм – «спираль», использование которого позволяет сократить время исследования местности, а также уменьшить количество пройденных шагов подвижными агентами. В дальнейшем предполагается проверить эффективность данных алгоритмов для местности с препятствиями, а также сравнить технологию Wi-fi с другими вариантами реализации для оценки энергозатрат на осуществление коммуникации между подвижными агентами.

### **Библиографический список**

1. Некоммерческий научно-популярный проект «Элементы большой науки» [Электронный ресурс] // Химия и жизнь. – 2013. – № 8. – URL: [https://elementy.ru/nauchnopoluyarnaya\\_biblioteka/432119/Musoro-sobirатели\\_vrednyu\\_trud\\_neobkhodimyy\\_obshchestvu?ysclid=li5kx1xk413752058](https://elementy.ru/nauchnopoluyarnaya_biblioteka/432119/Musoro-sobirатели_vrednyu_trud_neobkhodimyy_obshchestvu?ysclid=li5kx1xk413752058) (дата обращения: 21.12.2023).

2. СМП Роботикс автономные мобильные роботы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.smprobotics.ru/applications/robot-dlya-sborki-musora/?ysclid=lqe3t21169150404663> (дата обращения: 21.12.2023).

3. Яницкий О.Н. Экомодернизация России: теория, практика, перспективы. – М.: Институт социологии РАН, 2011. – 215 с.

4. ROBOTECH is an academic spin-off company of the Scuola Superiore Sant'Anna [Электронный ресурс]. DustClean, 2012. – URL: <https://www.robotechsr.com/dustclean-en-robot-sweeper/> (дата обращения: 21.12.2023).

### **Сведения об авторах**

**Миков Илья Игоревич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АТ-19-16, г. Пермь, e-mail: [iluha.mikov@yandex.ru](mailto:iluha.mikov@yandex.ru)

**Посягин Антон Игоревич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: [posyagin.anton@gmail.com](mailto:posyagin.anton@gmail.com)

**Ю.М. Букирева, А.И. Тур**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **НАИВНЫЙ БАЙЕСОВСКИЙ АЛГОРИТМ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СПАМ-ФИЛЬТРА**

Рассматривается логика работы наивного байесовского алгоритма в качестве основы для работы спам-фильтра. При обучении фильтра для каждого слова, найденного в письмах, рассчитывается и сохраняется его «вес» – оценка вероятности того, что электронное письмо с этим словом является спамом. Обычно в качестве оценки используется частота «появления спама / всех появлений». Несмотря на большое количество преимуществ данного алгоритма, существует ряд недостатков применения этого метода.

**Ключевые слова:** наивный байесовский алгоритм, спам, класс, вероятность, слово.

**Yu.M. Bukireva, A.I. Tur**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **STRATEGY OF ACCESS TO CORPORATE NETWORKS USING THE ZERO TRUST MODEL**

This article discusses the logic of the naive Bayesian algorithm as the basis for the spam filter. When training a filter for each word found in emails, its «weight» is calculated and stored – an estimate of the probability that an email with this word is spam. Usually, the frequency of «spam/all occurrences» is used as an estimate. Despite the large number of advantages of this algorithm, there are a number of disadvantages of using this method.

**Keywords:** naive Bayesian algorithm, spam, probability, word, text.

Наивный байесовский алгоритм – это метод классификации, основанный на так называемой теореме Байеса. Алгоритм наивен, потому что он рассматривает функции совершенно независимо друг от друга, и все они вносят вклад в вероятность класса. Использование байесовской теории при создании спам-фильтров позволяет определить принадлежность электронного письма к спаму путем анализа заголовка письма и самого текста с учетом сообщений, полученных от пользова-

телей ранее. При изучении фильтра для каждого слова, которое появляется в электронных письмах, вычисляется и сохраняется его «вес», то есть оценка вероятности того, что данное электронное письмо, содержащее это слово, является спамом. В простых случаях в качестве оценки используется частота «появления спама».

Как уже было отмечено ранее, наивный алгоритм Байеса основан на теореме Байеса. Используя это правило, можно определить вероятность того, что электронное письмо является спамом, учитывая, что оно содержит определенные слова. Объясняется это следующим образом: находится вероятность того, что каждое слово в электронном письме является спамом, а затем эти вероятности умножаются друг на друга, чтобы получить общий показатель спама по электронной почте, который будет использоваться при классификации. Чаще всего программным обеспечением применяется следующая формула условной вероятности [1]:

$$\Pr(A|B) = \frac{\Pr(B|A) \cdot \Pr(A)}{\Pr(B|A) \cdot \Pr(A) + \Pr(B|H) \cdot \Pr(H)}, \quad (1)$$

где  $\Pr(A|B)$  – вероятность того, что письмо является спамом, если в нем находится определенное слово;  $\Pr(B|A)$  – вероятность того, что определенное слово находится в письме, если оно является спамом;  $\Pr(A)$  – вероятность того, что случайное письмо является спамом;  $\Pr(H)$  – вероятность того, что случайное письмо окажется не спамом;  $\Pr(B|H)$  – вероятность того, что определенное слово находится в письмах, которые не являются спамом.

В результате полученное значение  $\Pr$  сравнивают с определенным порогом – «0,5», чтобы решить, является ли сообщение спамом или нет. Если  $\Pr$  ниже порогового значения, сообщение будет рассматриваться как возможный «неспам», в противном случае оно будет рассматриваться как спам. Когда объем текста очень большой, приходится проводить расчет с очень маленькими числами. Для того чтобы не делать этого, необходимо преобразовать формулу (1) по свойствам логарифма в следующую формулу [2]:

$$\log \frac{D_c}{D} + \sum_{i \in Q} \log \frac{w_{ic} + 1}{|V| + L_c}, \quad (2)$$

где  $D_c$  – количество документов в обучающей выборке, принадлежащих классу  $c$ ;  $D$  – общее количество документов в обучающей выборке;  $|V|$  – количество уникальных слов во всех документах обучающей

выборки;  $L_c$  – суммарное количество слов в документах класса  $c$  в обучающей выборке;  $W_{ic}$  – сколько раз  $i$ -е слово встречалось в документах класса  $c$  в обучающей выборке;  $Q$  – множество слов классифицируемого документа (включая повторы).

Что касается преимуществ данного алгоритма, наивный байесовский алгоритм – это популярный способ, на основе которого функционирует один из самых распространенных методов фильтрации спама. По данному алгоритму очень легко и быстро обучить ПО и, если предполагается независимость каждой функции, то она будет работать даже лучше, чем сопоставимые модели классификации, такие как логистическая регрессия, и потребует меньше данных для обучения. В то же время у этого метода есть и фундаментальный недостаток: он основан на предположении, что некоторые слова чаще встречаются в спаме, а другие – в обычных электронных письмах, и неэффективен, если это предположение неверно. Разберем этот пункт на конкретном примере. Пусть система обучалась на сообщениях, представленных ниже (Таблица 1). Выборка составлялась на основе реальных писем из спам-ящика и обычных интернет-рассылок, которые попали в основную папку.

Таблица 1

Список документов в соответствии с их классом

№ п/п	Спам	Не спам
1	Дарим лотерейный билет	Надо купить молоко
2	Быстро повышаем заработок	Получить дополнительную скидку
3	Купить товар из Европы	Активируйте секретный промокод
4	Скан платежки выслаем	Бесплатная доставка при выкупе
5	Просим подтвердить получение	Ваш заказ принят
6	Не скучайте - отдохните	Приглашаем на бесплатный макияж
7	Продайте все ненужное	Обменяйте украшения на новые
8	Билеты посмотрите в журнале	По вашему заказу сформирован электронный чек
9	Нажмите ЭТО НЕСПАМ	–
10	Срочные деньги под залог	–
11	Бесплатно пройти послековидную реабилитацию	–
12	Открылось бронирование со скидкой	–
13	Хотим предложить квартиры	–
14	Привезти проще и быстрее	–
15	В кратчайшие сроки	–
16	Оплата по безналичному расчету	–
17.	Перевод в размере 700 руб. отправлен	–
18.	Чтобы открыть чек, перейдите по ссылке	–

Необходимо определить, к какому классу отнести следующее сообщение: «Бесплатная доставка при выкупе от 2000 руб. Дополнительно – 1 % при оплате онлайн». Составляем таблицу на основании выборки документов, при этом удаляя «стоп-слова» (Таблица 2).

Таблица 2

Модель классификатора

Слово	Количество вхождений в «Спам»	Количество вхождений в «Не спам»
Дарим	1	0
Лотерейный	1	0
Билет	1	0
Быстро	1	0
Повышаем	1	0
Билет	1	0
Купить	1	1
Товар	1	0
Европы	1	0
Скан	1	0
Платежки	1	0
Высылаем	1	0
Просим	1	0
Подтвердить	1	0
Получение	1	2
Скучайте	1	0
Отдохните	1	0
Продайте	1	0
Ненужное	1	0
Посмотрите	1	0
Журнале	1	0
Не спам	1	0
Срочные	1	0
Деньги	1	0
Залог	1	0
Бесплатно	1	2
Пройти	1	0
Послековидную	1	0
Реабилитацию	1	0
Открылось	1	0
Бронирование	1	0
Скидка	1	1
Хотим	1	0
Предложить	1	0
Квартиры	1	0
Привезти	1	0
Проще	1	0



Окончание табл. 2

Слово	Количество вхождений в «Спам»	Количество вхождений в «Не спам»
Быстрее	1	0
Кратчайшие	1	0
Сроки	1	0
Оплата	1	0
Безналичный	1	0
Расчет	1	0
Перевод	1	0
Размер	1	0
Рублей	1	0
Отправлен	1	0
Чек	1	1
Перейдите	1	0
Ссылка	1	0
Надо	0	1
Молоко	0	1
Дополнительную	0	1
Активируйте	0	1
Секретный	0	1
Промокод	0	1
Доставка	0	1
Выкуп	0	1
Заказ	0	2
Принят	0	1
Приглашаем	0	1
Макияж	0	1
Обменяйте	0	1
Украшения	0	1
Новые	0	1
Сформирован	0	1
Электронный	0	1

Рассчитываем оценку предложения для класса «спам» по формуле [2]:

$$\log \frac{18}{26} + \log \frac{2}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{2}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{2}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} = -13,8. \quad (3)$$

Рассчитываем оценку предложения для класса «не спам» по формуле:

$$\log \frac{8}{26} + \log \frac{3}{69+23} + \log \frac{2}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{2}{69+23} + \log \frac{2}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} = -12,8 \quad (4)$$

Значение оценки «не спам» больше значений оценки «спам». Соответственно, данное письмо не является спамом.

Для более точной оценки можно рассчитать вероятность того, что сообщение является спамом с определенным порогом значения «0,5», следующим образом, как представлено в формуле:

$$\frac{e^{-13,8}}{e^{-13,8} + e^{-12,8}} = 0,26. \quad (5)$$

То есть сообщение является спамом с вероятностью 26 %. Действительно, данное сообщение было взято из обычной папки со входящими письмами. Алгоритм сработал верно. Теперь необходимо рассчитать коэффициенты для сообщения, заранее отмеченного как спам.

Пример: «В этом году расширенный список категорий граждан может получить бесплатное обучение за счет государства в рамках проекта "Содействие занятости"».

Рассчитываем оценку предложения для класса «Спам» по следующему выражению (6):

$$\begin{aligned} & \log \frac{18}{26} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \\ & + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{2}{69+51} + \\ & + \log \frac{2}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{2}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \\ & + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} + \log \frac{1}{69+51} = -32,52 \quad (6) \end{aligned}$$

Рассчитываем оценку предложения для класса «Неспам» по следующему выражению:

$$\begin{aligned} & \log \frac{8}{26} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \\ & + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{3}{69+23} + \\ & + \log \frac{3}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \\ & + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} + \log \frac{1}{69+23} = -30,97. \quad (7) \end{aligned}$$

Далее рассчитаем значение вероятности следующим образом:

$$\frac{e^{-32,52}}{e^{-32,52} + e^{-30,97}} = 0,17. \quad (8)$$

Полученное значение говорит о том, что сообщение является спамом с вероятностью 17%. Но это неверно.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что во время расчета может попасться слово, которого не было на этапе обучения системы.

Это может привести к нулевой оценке сообщения, и данное письмо нельзя будет отнести к какому-либо классу.

Независимо от того, насколько объемная выборка уже произвелась, невозможно обучить свою систему всем возможным выражениям и словам. Для этого нужно применить сглаживание, а точнее, внести небольшие исправления во все вероятности попадания слов в документ. Для этого выбирается параметр  $0 < \alpha \leq 1$ .

Сглаживание по Лапласу – это метод сглаживания, который помогает избежать проблему нулевой вероятности в наивном байесовском алгоритме при обучении системы. Применение  $\alpha$  при расчете может увеличить вероятность до значения 0,5. Более предпочтительно использовать  $\alpha = 1$ .

Подведя итоги работы, можно отметить, что фильтрация спама на основе теоремы Байеса – это простой и удобный метод обучения ПО распознаванию спам-сообщений в электронных письмах. И, как известно, на его основе построены практически все современные спам-фильтры. Однако у данного метода имеются принципиальные недостатки, в том числе невозможность обучить систему большому объему возможных слов-триггеров. А это крайне негативно влияет на производительность алгоритма и делает его неэффективным. В данной статье также представлено предложение по улучшению работы классификатора.

### **Библиографический список**

1. Утаджиева Э.А., Гостева М.В. Байесовская фильтрация спама. – СПб.: Финуниверситет, 2016. – 4 с.
2. Кугаевских А.В., Муромцев Д.И., Кирсанова О.В. Классические методы машинного обучения. – СПб.: Университет ИТМО, 2022. – 53 с.

### **Сведения об авторах**

**Букирева Юлия Михайловна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-23-1м, г. Пермь, e-mail: yulia.bukireva@yandex.ru

**Тур Александр Игоревич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: tur.aleksandr93@mail.ru

**К.Е. Бабенко, А.Н. Каменских**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SAP FOCUSED RUN ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛИТИКИ БЕЗОПАСНОСТИ КОНФИГУРАЦИИ ERP-СИСТЕМ**

Исследуется структура политик безопасности конфигурации ERP-систем с примерами реализации правил соответствия и несоответствия. Рассматривается проблема неприменимости типовых политики безопасности на предприятии. Разрабатывается алгоритм написания политики безопасности. Оценивается возможность использования результатов проверки при проведении аудита безопасности, а также изучается реализация составной политики безопасности конфигурации.

**Ключевые слова:** политика безопасности конфигурации, ERP-система, метрика.

**K.E. Babenko, A.N. Kamenskih**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **USING SAP FOCUSED RUN TO CREATE ERP SYSTEMS CONFIGURATION SECURITY POLICY**

This article study the structure of ERP system configuration security policies with examples of implementing compliance and non-compliance rules. The problem of inapplicability of typical security policies in the enterprise is considered. The algorithm of security policy writing is developed. The possibility of using the results of verification in security audit is evaluated, and the realization of composite configuration security policy is studied.

**Keywords:** configuration security policy, ERP system, metrics.

ERP (Enterprise Resource Planning) – это программное обеспечение для автоматизации бизнес-процессов предприятия, таких как управление финансами, персоналом или производством [1]. ERP-систем предназначены для использования как крупными производственными компаниями, так и малым и средним бизнесом. Мировой рынок ПО ERP превышает 25 млрд долл. и растет на 10–20 % ежегодно, по прогнозам,

к 2026 г. он достигнет 78,4 млрд долл. Приведенная статистика говорит о интересе к ERP-решениям со стороны бизнеса [2].

ERP-система состоит из подсистем, которые выполняют определенные функции бизнеса. Комплексность ERP-систем порождает большое количество уязвимостей. Чтобы отслеживать состояние системы используются метрики конфигурации – технические показатели состояния системы. Для обработки метрик необходимо написать политики безопасности конфигурации, которые определяют, является ли конкретный параметр безопасным и соответствует ли он заранее прописанным техническим требованиям. Чтобы проводить мониторинг безопасности, используются специализированные решения, собирающие данные по системам, проводящие проверку по политикам безопасности, по результатам которой формируется отчет.

SAP Focused run – сервис, использующийся для мониторинга и анализа технических показателей сервисов в единой системе. Здесь обрабатывается не только информация о доступности систем и баз данных, но и анализируется состояние безопасности сервисов, за что отвечает раздел Configuration & Security Analysis, который собирает полный набор конфигураций систем в Configuration and Change Database (CCDB) [3].

Анализ безопасности основан на политиках безопасности, представляющих собой XML-файл, в котором определенным образом прописаны правила соответствия. На рис. 1 структура политики.

```
<configstore name="" sci_id="">
  <checkitem desc="" id=
    <compliant>           </compliant>
    <noncompliant>       </noncompliant>
  </checkitem>
</configstore>
</targetssystem>
```

Рис. 1. Структура политики

Написание любой политики начинается с указания configstore name – хранилища конфигураций в котором хранятся метрики определенной тематики [4].

Затем идет блок проверки соответствия, который открывают и закрывают теги <checkitem> и </checkitem>. В этом разделе содержатся

правила соответствия и несоответствия конфигурации. Политика безопасности может содержать неограниченное количество правил. Правила в политике группируются по хранилищам конфигурации, это значит, что в одной политике безопасности может быть несколько хранилищ конфигурации, которые будут содержать собственные правила соответствия конфигурации.

В блоке `<compliant></compliant>` описывается правило соответствия, то есть требуемые значения конфигурации. Каждое правило состоит из метрики и ее значения. Блок `<noncompliant></noncompliant>` содержит правило несоответствия, которое синтаксически соответствует правилу соответствия, но описывает запрещенные варианты конфигурации.

```
<checkitem desc="Charset" id="1.0.0.1">
  <compliant>
    NAME='login/password_charset' and VALUE = '0'
  </compliant>
  <noncompliant>
    NAME='login/password_charset' and VALUE != '0'
  </noncompliant>
</checkitem>
```

Рис. 2. Пример правила с конкретным значением метрики

На рис. 2 показана простейшая политика безопасности. В данном случае проверяемая метрика `login/password_charset` может иметь только значение «0». В блок `<noncompliant></noncompliant>` достаточно скопировать правило соответствия и заменить знак «равно», на знак «не равно». Также SAP Focused Run позволяет указывать определённый интервал значений, как показано на рис. 3.

```
<checkitem desc="min_password_digits" id="1.0.1.17">
  <compliant>
    NAME = 'login/min_password_digits' and lpad(VALUE,4,'0') &gt;= '0003' </compliant>
  <noncompliant>
    NAME = 'login/min_password_digits' and not lpad(VALUE,4,'0') &gt;= '0003' </noncompliant>
</checkitem>
```

Рис. 3. Пример правила с интервалом значений метрики

В политиках безопасности могут использоваться заранее прописанные системой операторы, которые указываются в блоке `<checkitem></checkitem>` перед блоком проверки соответствия.

На рис. 4 проверяется, работает ли сервис на определённом URL. Правила соответствия и несоответствия одинаковые, потому что опе-

ратор «not\_exist:URL» проверяет наличие URL. Если URL будет найден, то сработает правило несоответствия, если нет – то, наоборот, конфигурация успешно пройдет проверку [5].

```
<configstore name="SICF_SERVICES" name_extended="" sci_id="">
  <checkitem desc="Deactivate FormToRfc" id="1.1.0.1" operator="not_exist:URL">
    <compliant> ICF_NAME like '%' and URL = '/sap/bc/FormToRfc/' </compliant>
    <complianttext/>
    <noncompliant> ICF_NAME like '%' and URL = '/sap/bc/FormToRfc/' </noncompliant>
    <noncomplianttext/>
  </checkitem>
```

Рис. 4. Пример правила с использованием оператора «not\_exist»

Поставщики ПО предоставляют пользователям типовой набор политики безопасности, которые с минимальными правками можно внедрить в систему. К сожалению, эти политики унифицированы и не учитывают особенности предприятия заказчика, а также могут не выполнять необходимые специфичные требования по безопасности конфигурации. Из этого следует вывод о том, что политики безопасности, предоставляемые поставщиком, не больше, чем основа для написания собственных политик.

Перед началом работ по разработке политики безопасности необходимо составить перечень технических требований, которые должны обеспечиваться в информационной системе в соответствии с законодательством РФ и внутренними документами компании. Затем составляется список метрик, необходимых для выполнения технических требований и конкретные значения соответствия и несоответствия. После чего пишется сама политика безопасности конфигурации, обеспечивающая проверку необходимых метрик.

Результатом выполнения вышеописанных действий будет политика безопасности, представляющая собой xml-файл с кодом, с помощью которого проводится проверка безопасности системы. После выполнения проверки программа выдает отчет, представленный на рис. 5, в котором на диаграммах показано количество систем, удовлетворяющих требованиям разработанной политики, а также в таблицах представляется подробная информация по каждой из систем или метрик, представленная на рис. 6. Также результаты проверки можно выгрузить в формате xlsx-файла.

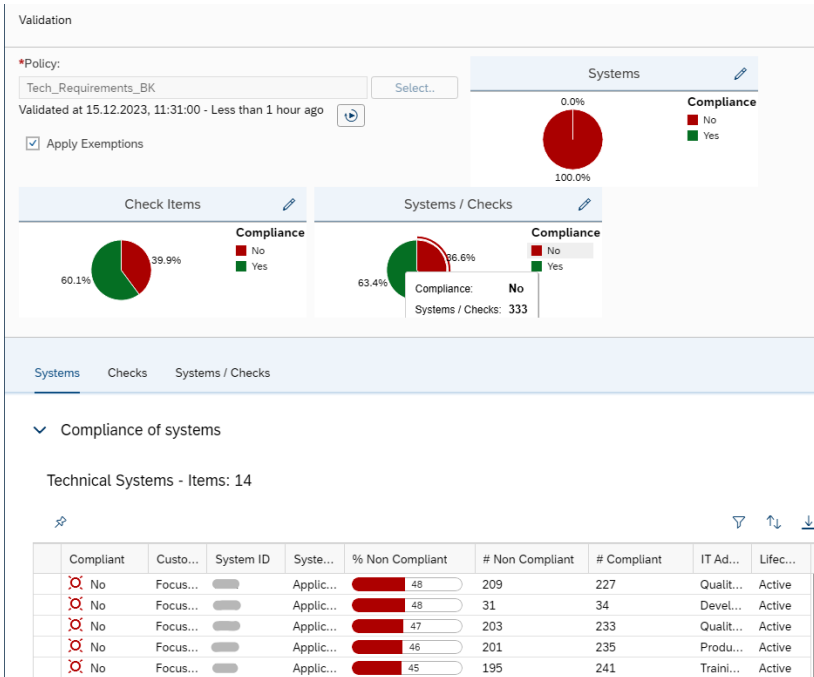


Рис. 5. Отчет

Landscape	Check Description	C...	Va...	Policy	Check	Rule	Valid since
AppServer 00 of RCR on...	Charset	NAME	VALU	Tech_Requ...	1.0.0.1	NonCompliance Rule: ( NAME='login/password_charse... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM
AppServer 00 of RCR on...	Charset	NAME	VALU	Tech_Requ...	1.0.0.1	NonCompliance Rule: ( NAME='login/password_charse... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM
AppServer 00 of RCR on...	Charset	NAME	VALU	Tech_Requ...	1.0.0.1	NonCompliance Rule: ( NAME='login/password_charse... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM
AppServer 00 of RCR on...	Charset	NAME	VALU	Tech_Requ...	1.0.0.1	NonCompliance Rule: ( NAME='login/password_charse... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM
AppServer 00 of RCR on...	Charset	NAME	VALU	Tech_Requ...	1.0.0.1	NonCompliance Rule: ( NAME='login/password_charse... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM
RCR on saprchrdb	Deactivate error	ICF_N	URL =	Tech_Requ...	1.1.0.6	NonCompliance Rule: not_exist( ICF_NAME like '% a... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM
AppServer 00 of RCR on...	Password hash algorithm	NAME	VALU	Tech_Requ...	1.0.1.29	NonCompliance Rule: ( NAME='login/password_hash_... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM
AppServer 00 of RCR on...	Password hash algorithm	NAME	VALU	Tech_Requ...	1.0.1.29	NonCompliance Rule: ( NAME='login/password_hash_... <input type="checkbox"/>	5/22/23, 10:47 AM

Рис. 6. Список несоответствующих требованиям метрик с их значениями



Анализ результатов проверки является неотъемлемой частью аудита безопасности, так как наглядно показывает, насколько системы соответствуют предъявленным требованиям, какие параметры конфигурации требуется изменить, а также позволяет выявлять аномальную активность в системе, а также изменение критических конфигураций, для которых необходимо ручное вмешательство. Аудит безопасности проводится согласно утвержденному в организации графику либо при исключительных случаях, например, после проведения работ в системе.

Как было сказано ранее, политика безопасности конфигурации представляет собой файл с метриками, размер которого может достигать до тысяч строк, что усложняет работы по редактированию файла. Решением данной проблемы являются составные («composite») политики. Это политики, состоящие из нескольких отдельных политик, которые одновременно применяются при проведении аудита. Метрики можно разделить на логические блоки, либо для каждой метрики создать собственную политику, после чего объединить их в одну составную, как показано на рис. 7. Данный подход упрощает администрирование, при этом отчет проверки будет включать метрики из всех указанных политик.

The screenshot shows a web interface for 'Composite Policies'. At the top, there are tabs for 'Single' and 'Composite', with 'Composite' selected. Below the tabs is a toolbar with icons for 'New', 'Edit', 'Save', 'Delete', 'Configure', 'Generate', 'Validate', and 'Transport'. The main content is a table with the following columns: Policy Name, Version, Type, and Description.

Policy Name	Version	Type	Description
> Notes	0000	Composite	All PatchDays in here
▼ Baseline_Notes	0000	Composite	All ABAP Baseline Notes v_2_4
1ACHANGE	0000	Single	[BL2.4] Change Protection of Prod
1ACRITA_CSTO	0000	Single	[BL2.4] No use of critical auth. pro
1ACRITB_CSTO	0000	Single	[BL2.4] No use of critical auth. pro
1ACRITC_CSTO	0000	Single	[BL2.4] Critical Authorizations (AB
1AMSGSRV	0000	Single	[BL2.4] Message Server Security (
1APWDPOL	0000	Single	[BL2.4] Password Policy (ABAP)
1ARFCGW	0000	Single	[BL2.4] RFC Gateway Security (AE
1ASECUPD	0000	Single	[BL2.4] Regular Security Updates (
1ASTDUSR	0000	Single	[BL2.4] Standard Users (ABAP)
2AAUDIT	0000	Single	[STANDARD] Audit Settings (ABAP
2ACHANGE	0000	Single	[BL2.4] Change Protection of Prod
2ACRITD	0000	Single	[BL2.4] Protection of Password Ha
2ACRITD_CSTO	0000	Single	[BL2.4] Protection of Password Ha
2ADISCL	0000	Single	[BL2.4] Information Disclosure (AE

Рис. 7. Составная политика

**Заключение.** Политика безопасности конфигурации состоит из правил соответствия и несоответствия и применяется ко всем ERP-системам предприятия без исключения. В результате аудита конфигурации формируется отчет, содержащий значения проверенных метрик и соответствие требованиям, который может использоваться при анализе безопасности системы. В ходе проведения исследования была изучена структура политики безопасности конфигурации и особенности реализации в системе SAP Focused Run. Разработан краткий алгоритм написания политики безопасности.

### **Библиографический список**

1. Что такое ERP | Определение планирования ресурсов предприятия [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/erp/what-is-erp.html#definition> (дата обращения: 20.12.2023).

2. Rajendra Roul. 60 Must-know ERP Statistics Before Making a Buying Decision [Электронный ресурс]. – URL: <https://learn.g2.com/erp-statistics> (дата обращения: 20.12.2023).

3. Configuration & Security Analysis [Электронный ресурс]. – URL: <https://support.sap.com/en/alm/sap-focused-run/expert-portal/configuration-and-security-analytics.html> (дата обращения: 20.12.2023).

4. ConfVal\_ABAP\_Content [Электронный ресурс]. – URL: [https://help.sap.com/docs/SUPPORT\\_CONTENT/techops/3362700615](https://help.sap.com/docs/SUPPORT_CONTENT/techops/3362700615) (дата обращения: 20.12.2023).

5. Syntax Rules and Policy Check Examples [Электронный ресурс]. – URL: <https://support.sap.com/en/alm/sap-focused-run/expert-portal/configuration-and-security-analytics/syntax-rules-and-policy-check-examples.html> (дата обращения: 20.12.2023).

### **Сведения об авторах**

**Бабенко Кирилл Евгеньевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: kirillbabenko53@gmail.com

**Каменских Антон Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: antoshkinoinfo@yandex.ru

**А.Н. Каменских, В.Ю. Власов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **МИНИМИЗАЦИЯ ПРИВИЛЕГИЙ В МОДЕЛИ РОЛЕВОГО ДОСТУПА**

Исследуется возможность минимизации риска обладания пользователями избыточных полномочий в модели ролевого доступа. При изменениях организационной структуры предприятия, информационной системы, ротации сотрудников, а также из-за ошибочных действий лиц, ответственных за распределение полномочий часто возникают ситуации избыточных привилегий вследствие критичных сочетаний ролей. В статье описан общий ход всего алгоритма модели обнаружения пользователей с избыточными привилегиями.

**Ключевые слова:** модель ролевого доступа, конфликт полномочий, минимизация рисков, анализ пользователей.

**A.N. Kamenskikh, V.Yu. Vlasov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **MINIMIZING PRIVILEGES IN A ROLE BASED ACCESS CONTROL MODEL**

This article explores how to minimize the risk of users having excessive permissions in a role-based access model. With changes in the organizational structure of an enterprise, information system, rotation of employees, as well as due to erroneous actions of persons responsible for the distribution of powers, situations of excessive privileges often arise due to critical combinations of roles. The article describes the general flow of the entire algorithm for detecting users with excessive privileges.

**Keywords:** role-based access control model, conflict of privileges, risk minimization, user analysis.

В настоящее время множество компаний используют ролевою модель управления доступом [1] (англ. role-based access control, сокр. RBAC), которая позволяет назначить работнику полномочия в соответствии с его должностью и/или рабочей задачей. В данной модели привилегии сгруппированы по ролям, например, роль администратора

содержит полномочия на удаленный доступ к АРМ сотрудников, а также права на просмотр логов и изменение учетных данных пользователей. Однако вследствие изменений должностных обязанностей сотрудников, расширения предприятия или ошибок администраторов бизнес-процессов при присвоении ролей всегда существует риск присвоения работнику неправомерных полномочий, что противоречит принципу минимальных привилегий [2] (англ. Principle of Least Privilege, сокр. PoLP) информационной безопасности.

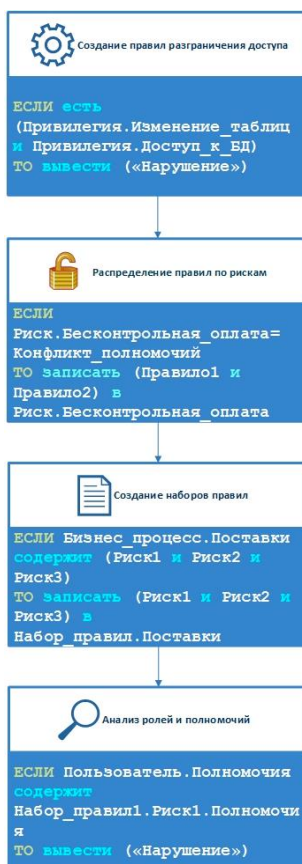


Рис.1. Модель минимизации привилегий посредством анализа ролей и полномочий

Принцип PoLP заключается в предоставлении пользователю только тех прав, которые необходимы для выполнения поставленных ему рабочих задач. Несоответствие этому принципу может повлечь за собой утечку конфиденциальной информации и финансовые потери.

В нашем случае для минимизации риска обладания работником избыточных прав следует разработать методику, которая позволит эффективно отслеживать учетные записи с конфликтующими ролями.

На основе данных, полученных в результате работы в компании, осуществляющей управление информационно-технологическим обеспечением, была разработана модель минимизации привилегий, которая представлена на рис. 1.

В результате анализа модели минимизации привилегий был составлен алгоритм обнаружения пользователей с избыточными привилегиями [3, 4]:

1. Создание пустого правила. Указывается название правила (функции), бизнес-процесс, объем анализа и описание (рис. 2).

Подробные данные История изменений

\* Ид. функции: RULENAME \* Описание: Description

\* Бизнес-процесс: 99.01 Системное ад...  
\* Объем анализа: Отдельная система

Операция Полномочия

Добавить Удалить Копировать Условие Статус

Система	Группа ра...	Разрешение	Поле	Значение с	Значение ...	Условие	Статус
<input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/>							
<input type="checkbox"/>							

Рис. 2. Создание пустого правила

2. Заполнение правила. Указываются информационная система предприятия, в которой будет действовать правило, и условия его срабатывания (рис. 3). Условия срабатывания – набор привилегий, сгруппированных особым образом, соответствие которым является нарушением, и при анализе полномочий вызывает срабатывание правила.

История изменений

\* Ид. функции: RULENAME

\* Бизнес-процесс: 99.01 Системное ад...

\* Объем анализа: Отдельная система

Описание: Description

Операция: Полномочия

Добавить Удалить Копировать Условие Статус

Система	Группа ра...	Разрешение	Поле	Значение с	Значение ...	Условие	Статус
<input type="checkbox"/>	ИСУ Перера	Z001	S_TCODE	TCD	SU01	И	Активно
<input type="checkbox"/>	ИСУ Перера	Z002	S_TABU_DIS	ACTVT	01	ИЛИ	Активно
<input type="checkbox"/>	ИСУ Перера	Z002	S_TABU_DIS	DICBERCLS	X	ИЛИ	Активно

Рис. 3. Заполнение правила

3. Создание пустого набора правил. Создается контейнер, который будет объединять определенные риски в логическую группу (рис. 4).

История изменений

\* Ид. набора правил: TEST\_DRS

\* Описание: Набор правил из системы DRS для тестирования

Рис. 4. Создание пустого набора правил

4. Создание рисков доступа. Указывается название риска, бизнес-процесс, уровень критичности, тип и описание (рис. 5).

Violation Historic View

История изменений

\* Ид. риска доступа: RISKNAME

\* Тип риска: Критичное разреше...

\* Бизнес-процесс: 99.01 Системное ад...

\* Описание: Description

\* Уровень риска: Критич.

\* Статус: Активно

Описание:

Цель контроля:

Рис. 5. Создание рисков доступа

5. Распределение правил по рискам доступа (рис. 6). В случае, если тип риска – критичное разрешение, одному риску будет соответствовать одно критичное правило. Присвоение привилегий из этого правила пользователю само по себе является критичным. Например, присвоение сотруднику полномочий на преобразование и удаление таблиц на уровне базы данных. Если тип риска – разделение полномочий, то риск доступа будет содержать от двух и более правил.

В таком случае критичным является обладание сотрудником комбинацией полномочий, описанных в этих правилах. Например, полномочия на создание заявки на оплату и полномочия на согласование этой заявки дадут возможность пользователю совершать бесконтрольный перевод денежных средств.

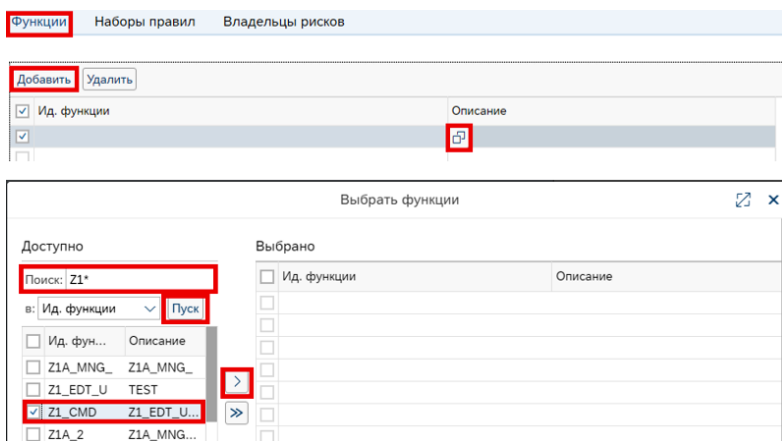


Рис. 6. Распределение правил по рискам

6. Объединение рисков одним набором правил. Риски объединяются по определенным критериям, например, по бизнес-процессу или информационной системе (рис. 7).

7. Проверка ролей или пользователей по созданным правилам. В случае соответствия условиям функций появится подробная информация о нарушениях в распределении полномочий, и администраторы систем на основе полученных данных проведут работу по минимизации избыточных привилегий (рис. 8).

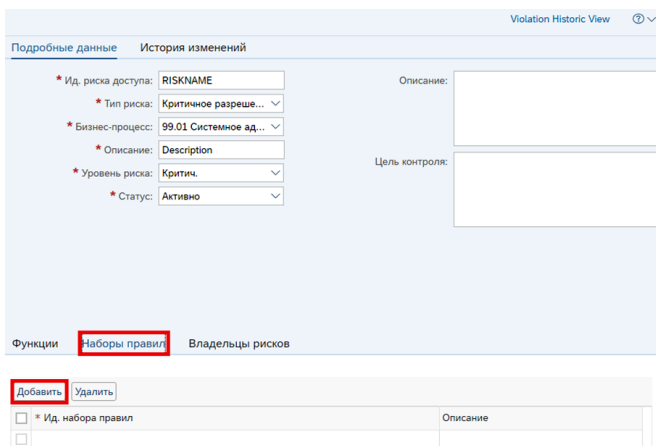


Рис.7. Объединение рисков набором правил

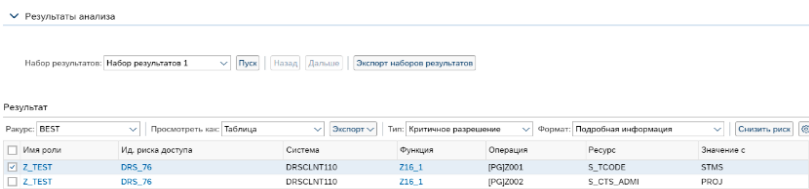


Рис. 8. Результаты анализа привилегий по созданным правилам

**Заключение.** В компании, использующей ролевую модель управления доступом, было проведено исследование привилегий сотрудников. Было выявлено, что следует минимизировать полномочия пользователей информационных систем с целью снижения риска получения несанкционированного доступа к конфиденциальной информации. Для достижения поставленной цели была создана модель минимизации привилегий, на основе которой был разработан алгоритм обнаружения пользователей и ролей с избыточными полномочиями. Составленный алгоритм соответствует всем основным свойствам алгоритмов [5], а именно:

1. Детерминированность. При заданных входных данных (роли, учетные записи пользователей) результат получается однозначным – выявляются нарушения правил распределения полномочий.



2. Результативность. Через конечное число шагов будет получен искомый результат.

3. Массовость. Разработанный алгоритм решает все задачи обнаружения избыточных полномочий в модели ролевого доступа.

4. Дискретность. Алгоритм состоит из отдельных этапов, возможность выполнения которых вычислительной техникой не вызывает сомнений.

5. Конечность. Каждое из действий, как и весь алгоритм, обязательно завершаются.

### **Библиографический список**

1. RBAC – управление доступом на основе ролей [Электронный ресурс]. – URL: [https://rt-solar.ru/products/solar\\_inrights/blog/3380/](https://rt-solar.ru/products/solar_inrights/blog/3380/) (дата обращения: 20.12.2023).

2. Что такое принцип минимальных привилегий? [Электронный ресурс]. – URL: <https://encyclopedia.kaspersky.ru/glossary/principle-of-least-privilege-polp/> (дата обращения: 20.12.2023).

3. Что такое GRC? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/financial-management/what-is-grc.html> (дата обращения: 20.12.2023).

4. Введение в SAP Risk Management [Электронный ресурс]. – URL: [https://help.sap.com/docs/SAP\\_RISK\\_MANAGEMENT/51bbedc6646d4ff5b35b9d883be390a6/88e20c58b7b345e09f30e74e6eac04ff.html](https://help.sap.com/docs/SAP_RISK_MANAGEMENT/51bbedc6646d4ff5b35b9d883be390a6/88e20c58b7b345e09f30e74e6eac04ff.html) (дата обращения: 20.12.2023).

5. Свойства алгоритмов [Электронный ресурс]. – URL: [https://cs.petsu.ru/studies/filatova\\_information/CMD\\_1996566\\_M/my\\_file\\_s/Inform/Algorithm/al-2.htm](https://cs.petsu.ru/studies/filatova_information/CMD_1996566_M/my_file_s/Inform/Algorithm/al-2.htm) (дата обращения: 20.12.2023).

### **Сведения об авторах**

**Каменских Антон Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: antoshkinoinfo@yandex.ru

**Власов Владислав Юрьевич** – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-20-16, г. Пермь, e-mail: makasiny100500@gmail.com

**А.М. Садыков, А.А. Евдокимов**

Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, Казань

## **DDoS-АТАКА И КАК ОТ НЕЁ ЗАЩИТИТЬСЯ**

В современном обществе информационные технологии проникли во все сферы жизни. Стремительный научно-технический прогресс изменил традиционные методы ведения войны, выйдя за пределы обычных полей сражений и охватив киберпространство. Распределенные атаки типа «отказ в обслуживании» (DDoS), направленные на критическую инфраструктуру, стали широко распространены. Эта тенденция обусловлена широкой интеграцией различных устройств, электронных средств и Интернета в повседневную деятельность общества. Нарушение нормального функционирования этих взаимосвязанных систем может привести к существенному материальному ущербу. Данное исследование посвящено изучению методов, используемых в DDoS-атаках. Оно посвящено тонкостям пространственных методов атак и изучению основных стратегий защиты. В исследовании подробно рассматриваются технологии и методики защиты от DDoS-атак. Однако, учитывая стремительное развитие информационных технологий, угроза DDoS-атак будет сохраняться. Следовательно, защита от таких атак остается актуальной проблемой, особенно в условиях продолжающейся кибервойны.

**Ключевые слова:** DDoS, DDoS-атака, Интернет, интернет-ресурс, защита от DDoS.

**A.M. Sadykov, A.A. Evdokimov**

Kazan National Research Technological University, Kazan

## **DDoS ATTACK AND HOW TO PROTECT YOURSELF FROM IT**

In contemporary society, information technologies have permeated every facet of life. The swift progress of science and technology has transformed traditional methods of warfare, expanding beyond conventional battlefields to encompass the cyber realm. Distributed Denial of Service (DDoS) attacks targeting critical infrastructure, have become prevalent. This trend stems from the extensive integration of various devices, electronic tools, and the Internet into daily societal activities. Disrupting the normal functioning of these interconnected systems can result in substantial material harm. This research focuses on investigating the techniques employed in DDoS attacks. It delves into the intricacies of common attack methods and explores key defense strategies. The study thoroughly examines technologies and defensive methodologies against DDoS attacks. However, given the rapid evolution of information technology, the threat of DDoS

attacks will persist. Consequently, safeguarding against such attacks remains a pertinent issue, especially in the context of ongoing cyber warfare.

**Keywords:** DDoS, DDoS-attack, Internet, Internet resource, DDoS protection.

DDoS расшифровывается как Distributed Denial of Service, а переводится – «распределенный отказ в обслуживании». Это разновидность хакерской атаки, которая перегружает пропускной канал, нарушая работу сервиса. Поскольку многие сферы жизни переносятся в онлайн, то нарушение работы необходимых сервисов способно нанести значительный ущерб.

Есть два варианта достичь отказа сервиса:

1) принуждение целевой системы к прекращению работы аппаратной и/или программной части или к существенным затратам ресурсов, что создает трудности или делает дальнейшую работу системы проблемной или невозможной;

2) занятие каналов связи между пользователями и атакуемой целью, в результате чего теряется связь с пользователями и оборудованием.

DDoS-атаки требуют немалого количества компьютеров, ведь с них будет вестись атака, которую можно достичь несколькими вариантами:

1) ботнет – компьютерная сеть, состоящая из некоторого количества хостов с запущенными ботами – автономным программным обеспечением [1];

2) флешмоб – заранее спланированная массовая акция, в которой группа людей выполняет обговорённые цели;

3) флуд – целенаправленное перегрузочное воздействие на определенный ресурс, осуществляемое путем отправки большого объема запросов или данных с целью вызвать отказ в обслуживании и нарушить нормальную работу системы. К наиболее распространенным видам флуда относятся следующие:

– ICMP (Internet Control Message Protocol)-флуд. Данная методика ухудшает пропускную способность и создаёт нагрузку на сетевой стек путем отправки стандартных запросов ICMP ECHO, то есть простого пингования [2];

– SYN (Sequence Number)-флуд. Данная методика основана на стратегии инициализации большого количества параллельных TCP (Transmission Control Protocol)-соединений. В этом процессе отправляется SYN-пакет с обратным адресом, фактически не существующим.

После нескольких попыток отослать пакет ACK (Acknowledge) в ответ на несуществующий адрес операционная система помещает это неудачное соединение в очередь. Завершение соединения происходит лишь после нескольких последующих попыток. Из-за интенсивного потока пакетов ACK очередь быстро забивается, что впоследствии приведёт к отказу ядра операционной системы в установке новых соединений. Продвинутые инструменты DDoS дополнительно проводят анализ системы перед началом атаки, направляя запросы только на открытые и стратегически важные порты;

– UDP (User Datagram Protocol)-флуд. Этот метод представляет собой распространенную тактику заполнения пропускной способности. Весь смысл заключается в бесконечной отправке пакетов UDP на порты различных служб, использующих протокол UDP;

– HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)-флуд. Этот вид атаки является одним из самых распространенных в настоящее время. Его суть в постоянной отправке HTTP GET-запросов на порт 80 для перегрузки веб-сервера таким образом, чтобы он не имел возможности обрабатывать запросы от рядовых пользователей. Зачастую объектом атаки HTTP-флуда становится не корневой каталог веб-сервера, а определенный скрипт, выполняющий важные ресурсоемкие операции. Обнаружить начало такой атаки обычно достаточно просто. Произойдёт резкое увеличение объема логов веб-сервера.

Рассмотрим основные методы защиты от DDoS-атак, к ним относятся следующие:

1) уменьшение доступных для атаки зон. Минимизация поверхности атаки, заключающаяся в ограничении доступных для атаки областей;

2) масштабирование. Развитие системы, способной удерживать большие объемы трафика;

3) информация о трафике. В момент обнаружения повышенных объемов трафика, попадающих на хост, можно ориентироваться на максимально допустимый объем, способный обработать хостом без ухудшения доступности. Такую концепцию называют ограничением скорости;

4) фаервол. Для защиты от атак, направленных на использование уязвимостей приложения, рекомендуется использовать WAF (Web Application Firewall) – веб-брандмауэр приложения. Из-за уникальности подобных атак владельцам атакованного сервиса следует иметь возможность самостоятельно блокировать запрещенные запросы. Обнаружение таких

запросов может осуществляться посредством анализа подозрительных IP-адресов, географических регионов и других характеристик;

5) cleanpipes. Метод «Чистая труба» представляет собой часто используемую стратегию для смягчения DDoS-атак. Основная идея этого подхода довольно проста: весь входящий сетевой трафик направляется через специальный «центр очистки». Здесь система проводит анализ и блокировку вредоносного трафика, разрешая только те пакеты, которым разрешен доступ к серверу. Этот метод доказал свою эффективность в борьбе с DDoS-атаками. Однако для его реализации необходимо наличие маршрутизатора BGP (протокола пограничного шлюза) и специализированного устройства, способного устанавливать туннели GRE [3];

6) CDN Dilution. Сеть доставки контента, или же CDN Dilution, представляет собой обширную распределенную систему серверов, обеспечивающую безопасную передачу веб-страниц, изображений и другого онлайн-контента пользователям, учитывая их местоположение. Этот метод смягчения DDoS использует подход, основанный на применении CDN для уменьшения воздействия ботов на трафик. Основная концепция заключается в использовании виртуальных серверов для передачи контента конечным пользователям из ближайшего к ним географического расположения, а не из исходного сервера;

7) защита от DDoS на уровне TCP/UDP Proxy особенно важна для веб-сайтов или платформ, использующих протоколы TCP/UDP, такие как электронная почта (SMTP), SSH (Secure Shell), игровые сервисы и прочие. Открытые порты могут стать уязвимыми для DDoS-атак. Для решения этой проблемы рекомендуется применять обратные прокси, которые работают на уровне TCP/UDP. Данный способ очень схож с использованием сетей CDN. В данном методе пакеты данных отправляются на обратные прокси-серверы TCP/UDP, которые фильтруют вредоносный трафик и обеспечивают более надежную защиту [4].

Для методов Clean Pipes, Proxy DDoS Protection и CDN Dilution проведем сравнительный анализ на основе следующих ключевых параметров:

– тип – конкретный вид соединения (туннельный тип – виртуальный канал или путь, созданный внутри другого сетевого соединения; прокси выполняет функцию посредника между клиентом и сервером; обратный прокси также является прокси, но его основная задача – обслуживание запросов с внешних клиентов и перенаправление их внутрь сети к соответствующим серверам);

- область применения – конкретная область, в которой определённый метод может быть использован;
  - конфигурация – настройка параметров служб для обеспечения эффективной защиты;
  - время выполнения – время, за которое будет выполнена определённая функция (Clean Pipes – время обнаружения и реакции на атаку, Proxy DDoS Protection – время обработки запросов через прокси, CDN Dilution – время распределения трафика через CDN);
  - защита от атак 3-го и 4-го уровней осуществляется на уровнях сетевого и транспортного протоколов модели OSI (Open Systems Interconnection);
  - защита от атак 7-го уровня – защита на уровне приложения, которая ориентирована на предотвращение атак, направленных на приложения и сервисы, работающие поверх транспортных протоколов;
  - балансировка нагрузки – процесс распределения трафика между несколькими серверами или ресурсами, чтобы обеспечить эффективное использование ресурсов, предотвращение перегрузок и обеспечение доступности;
  - ложные срабатывания – это ситуации, при которых система безопасности или любой другой автоматизированный механизм считает, что произошло какое-либо событие или атака, в то время как на деле далеко не так;
  - ключевые преимущества;
  - ключевые ограничения.
- Результаты сравнительного анализа приведены в таблице.

#### Сравнительный анализ методов Clean Pipes, Proxy DDoS Protection, CDN Dilution по ключевым параметрам

Показатель	Clean Pipes	Proxy DDoS Protection	CDN Dilution
Тип	Туннельный	Прокси	Обратный прокси
Область применения	Любые приложения	TCP / UDP приложения	Только веб-приложения
Конфигурация	По префиксу	По приложению	По домену
Время выполнения	Минуты	Миллисекунды	Миллисекунды
Защита от атак 3-го и 4-го уровня	Не всегда включена	Есть	Есть
Защита от атак 7-го уровня	Средняя	Средняя	Высокая
Балансировка нагрузки	Не поддерживается	Есть	Есть
Ложные срабатывания	Относительно высокие	Средней частоты	Почти нет

Показатель	Clean Pipes	Proxy DDoS Protection	CDN Dilution
Ключевые преимущества	Не нужно менять приложения в большинстве случаев	Балансировка нагрузки на бэкэнд (возможна поддержка нескольких портов на том же имени хоста)	Кэш контента, WAF возможности
Ключевые ограничения	Относительно высокая вероятность ложного срабатывания	Исходный сервер не может видеть истинный IP-адрес, потому что он будет заменен доверительным-исходящим IP-адресом NAT	Применяется только к веб-приложениям

DDoS-атаки являются большой проблемой в критической инфраструктуре страны. Поражения информационных систем способны нанести огромный вред внутри государства. Россия пережила многочисленные кибератаки, которые были направлены на коммунальную, банковскую, информационную системы и тому подобное. Согласно докладу компании «РТК-Солар», во втором квартале 2023 г. было обнаружено 325 тысяч случаев нарушений в области информационной безопасности, что на 12 % превышает уровень первого квартала и на 38 % превосходит показатели аналогичного периода прошлого года. Тенденция к увеличению числа инцидентов, начавшаяся в конце прошлого года, не только сохраняется, но и усиливается, возросла с 3 % в первом квартале до текущих 12 %. Количество подтвержденных угроз из общего числа выявленных событий составило 8850 случаев, отмеченный прирост составил 24 % по сравнению с первым кварталом 2023 г. [5].

Теперь мы знаем, что такое DDoS-атака и какой критический вред она несёт инфраструктуре страны, были рассмотрены способы осуществления таких атак. Несмотря на сложность проблемы, можно предпринять ряд эффективных методов защиты для предотвращения и смягчения DDoS-атак. Для успешной борьбы необходим мониторинг и оперативное реагирование, чтобы можно было максимально эффективно воспользоваться предоставленными выше методами защиты.

### Библиографический список

1. Сравнительный анализ эффективности существующих методов защиты сетей связи от DDoS-атак / Н.В. Евглевская, А.Ю. Зуев, А.О. Карасенко, О.С. Лаута // Радиопромышленность. – 2020. – Т. 30, № 3. – С. 67–74.

2. Shinde P., Parvat T.J. DDoS Attack Analyzer: Using JPCAP and Win-Cap. Procedia. – 2016.

3. Common DDoS mitigation methods and comparison [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mlytics.com/blog/common-ddos-mitigation-implementation-strategies-and-comparison/>

4. About the TCP-UDP-Proxy [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.watchguard.com/help/docs/help-center/en-US/Content/en-US/Fireware/proxies/tcp/tcp\\_udp\\_proxy\\_about\\_c.html](https://www.watchguard.com/help/docs/help-center/en-US/Content/en-US/Fireware/proxies/tcp/tcp_udp_proxy_about_c.html)

5. Количество кибератак на российские организации в 2023 году заметно выросло [Электронный ресурс]. – URL: <https://rg.ru/2023/07/27/kolichestvo-kiberatak-na-rossijskie-organizacii-v-2023-godu-zametno-vyroslo.html>

### **Сведения об авторах**

**Садыков Александр Мунирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационная безопасность» Казанского национального исследовательского технологического университета, г. Казань, e-mail: alex.sadykov@mail.ru

**Евдокимов Андрей Андреевич** – студент Казанского национального исследовательского технологического университета, г. Казань, e-mail: yaevdak@gmail.com



**А.М. Садыков, Е.А. Артамонова**

Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, Казань

## **ПРИМЕНЕНИЕ OPEN SOURCE INTELLIGENCE ДЛЯ ПОИСКА И ИДЕНТИФИКАЦИИ**

Рассматривается процесс сбора, анализа и использования информации из открытых источников, известный как OSINT. Освещены правовые аспекты доступа к информации в контексте российского законодательства, а также обозначены основные направления и цели применения OSINT в различных сферах, включая разведку и контрразведку, журналистику, корпоративный сектор, академические исследования и частное использование.

**Ключевые слова:** OSINT, разведка по открытым источникам, информационный анализ, правовые аспекты, персональные данные.

**A.M. Sadykov, E.A. Artamonova**

Kazan National Research Technological University, Kazan

## **USING OPEN SOURCE INTELLIGENCE FOR SEARCH AND IDENTIFICATION**

This article explores the possibility of building a domain model. Semantic, syntactic and morphological analyses of texts have become the basis of the hybrid method. It should identify the advantages and disadvantages of existing methods. The method is based on extracting relationships from the text. A relation is a verb or verbal part of speech. The article shows a way to extract relationships and relationship objects from tokens. The general course of the entire algorithm of the hybrid model of domain construction is described.

**Keywords:** OSINT, open source intelligence, information analysis, legal aspects, personal data.

Open Source Intelligence (OSINT), что означает «разведка по открытым источникам», – это процесс сбора, анализа и использования информации из открытых источников, таких как Интернет, социальные сети, новостные ресурсы и другие общедоступные источники.

В последние годы международная обстановка в области безопасности развивалась так, что больший акцент делался на сборе и анализе информации. Это связано с распространением цифровых технологий и Интернета, облегчающим отдельным лицам, организациям и правительствам доступ к информации, обмен ею и распространение. В результате традиционная концепция национальной безопасности расширилась и включает кибербезопасность, информационную безопасность и онлайн-пропаганду. В этом контексте OSINT превратились в важный инструмент и ресурс для правительств, вооруженных сил, разведывательных организаций и отдельных лиц. Это относится к информации, которая является общедоступной и может быть собрана из широкого круга источников, включая Интернет, социальные сети, газеты и правительственные веб-сайты. Рост масштабов информационных войн и потребность в разведанных на цифровых фронтах сделали OSINT более важным ресурсом для организаций, занимающихся вопросами национальной безопасности государства. Различные тематические исследования показывают, что OSINT может предоставлять ценную информацию, которую можно использовать для принятия обоснованных решений относительно внешней политики, разведывательных операций; понимания глобальных угроз безопасности и реагирования на них; поддержки военных операций. Анализируя данные из различных источников, таких как социальные сети, онлайн-форумы и спутниковые снимки, аналитики OSINT могут получить лучшее представление о передвижениях и деятельности в зонах конфликтов.

Помимо этого, OSINT может использоваться для мониторинга и противодействия дезинформации, пропаганде и дезинформации, которые широко используются государственными и негосударственными субъектами для влияния на общественное мнение и политические решения.

OSINT позволяет собирать информацию из разных источников, получать более полное представление о ситуации на местах, а также позволяет делать перекрестные ссылки и проверять информацию. Еще одним преимуществом OSINT является его относительно низкая стоимость и доступность для широкого круга частных лиц и организаций. Это позволило разнообразной группе действующих лиц, включая журналистов, исследователей и аналитиков, играть активную роль в мониторинге и анализе конфликтов по всему миру [1].

Правовые аспекты информации, находящейся в открытых источниках:

По 29-й статье Конституции РФ каждый имеет право свободно искать, получать, передавать, производить и распространять информацию любым законным способом [2].

Федеральный закон № 152 «О персональных данных» регулирует сбор, хранение и использование персональных данных, однако не распространяется на обработку данных физическими лицами для личных и семейных нужд [3].

Статья 152.2. Гражданского кодекса Российской Федерации «Охрана частной жизни гражданина» говорит о том, что не допускаются без согласия гражданина сбор, хранение, распространение и использование любой информации о его частной жизни, но при этом не являются нарушением правил, сбор, хранение, распространение и использование информации, которая ранее стала общедоступной либо была раскрыта самим гражданином или по его воле [4]. Таким образом, информация, которую гражданин разместил сам (вне зависимости – преднамеренно или нет), дает нам полное право распоряжаться ею.

Разведка и контрразведка, журналистика и корпоративный сектор, академические исследования, а также частное использование – основные области применения OSINT. Рассмотрим их более подробно.

1) разведка и контрразведка: даже правительства стран используют технологии OSINT для сбора информации;

2) журналистика, корпоративный сектор: компании могут использовать осинт для анализа рынка, конкурентов, потенциальных инвестиций, репутации бренда и других бизнес-целей;

3) в академических исследованиях OSINT тоже играет свою роль: ученые и исследователи используют статьи и публикации для своих целей, дорабатывая или переделывая изначальные задумки [5];

4) частные лица: люди могут использовать OSINT для поиска информации о людях, местах, событиях;

5) личная безопасность: публичные личности (блогеры, политики и т.д) могут использовать OSINT, чтобы понять, какая информация о них доступна публично, чтобы принять меры для её защиты.

Имея чей-либо никнейм можно поискать совпадения в социальных сетях, отсюда вскрывается информация об инициалах, номер те-

лефона и даже геоданные. Имея же на руках почту, можно попробовать поискать сайты, привязанные на нее.

Узнав номер телефона, можно узнать имя и отчество через банковское приложение, а если номер привязан к мессенджеру (whatsapp, viber и прочее) можно узнать ник, и уже через него попробовать найти другие социальные сети.

Люди часто используют одни и те же ники на разных сайтах. Это может быть связано с удобством и привычкой, но этот факт облегчает работу человека, который ищет информацию. Самый легкий способ поиска по нику – это использование дополнительного программного обеспечения (ПО). Для примера была взята программа Snoot Project, которая входит в отечественный реестр ПО как «ПО, обеспечивающее выполнение установленных действий при проведении оперативнорозыскных мероприятий». После её работы выдается отсортированный список, где были найдены аккаунты с данным ником [6].

Парсер – это программа, которая анализирует входные данные и разбирает их на составные части в соответствии с определенными правилами. Иными словами, это программа, которая ищет точные совпадения в предоставленной ей информации. Для OSINT на данный момент создано уже множество парсеров. Например, парсер 220vk может искать все комментарии пользователя, находящиеся в открытом доступе. Имея эти данные, опытный человек определит круг общения, чтобы больше узнать о человеке. Также есть парсеры по выложенным в открытый доступ документам во ВКонтакте, где часто можно наблюдать такие данные, как паспорт, приказы учреждений и различные финансовые отчеты [7].

Каждый раз при создании или редактировании файла в нем остается множество метаданных. Они могут включать в себя различные атрибуты: название и тип файла, размер, дату создания и изменения, автора и т.д. Множество метаданных при отправке через социальные сети удаляются, чтобы уменьшить вес файла, но, если файл был прислан на почту, шанс того, что они останутся, есть. Имея файлы офиса Microsoft, можно найти автора и даже почту. Также через метаданные офисных файлов можно заложить полезную нагрузку, позволяющую получить доступ к компьютеру. В файлах изображений будет дана вся информация о фотографии (рисунок) и, возможно, геометка того места, где она была сделана.

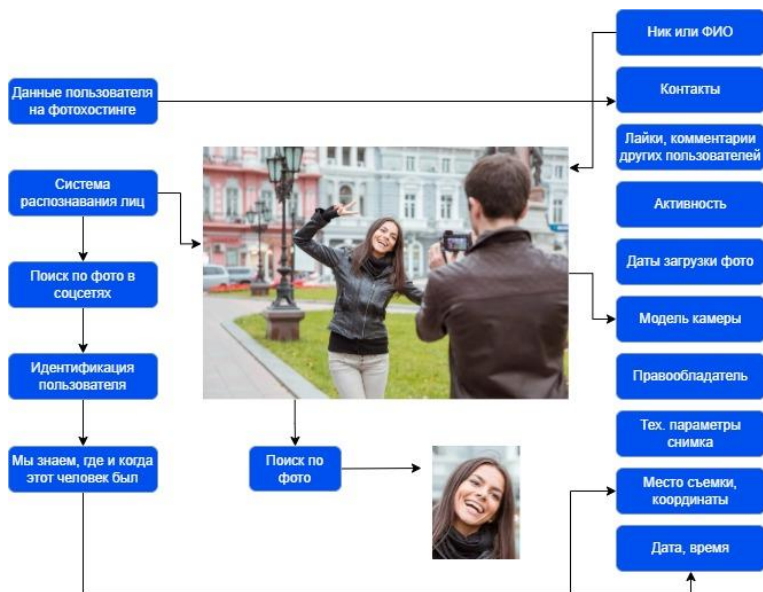


Рис. Информация о фотографии

Номер телефона регистрируется через паспорт, следовательно, в плохих руках, если они хранят украденные базы данных, злоумышленники могут легко получить доступ к паспорту через него. А имея номер телефона, можно определить место, где оформлялась карта, какая компания его обслуживает, инициалы через банковское приложение или мессенджеры, если номер был к ним привязан.

Сервис Strava считается в США одним из наиболее популярных приложений для отслеживания фитнес-достижений. С помощью GPS на смартфоне программа отслеживает маршруты пробежек, велопробегов и других занятий спортсменов и фиксирует их показатели. Данные с фитнес-трекеров уже могут служить уликой при расследовании дела. Так, весной прошлого года показания с браслета Fitbit поставили под сомнение алиби американца, подозреваемого в убийстве своей жены. Ранее американская полиция уже использовала данные кардиостимулятора, чтобы получить «показания» об активности человека, подозреваемого в поджоге собственного дома [8].

Камерка – удобный инструмент для геолокации, сбора данных и слежки с помощью подключенных к Интернету ICS- и IoT-устройств, позволяющий узнать местоположение открытых камер видеонаблюдения по всему миру. После ввода координат локации скрипт отображает список устройств и карту. И при нажатии на значок камеры открывается IP-адрес устройства.

Примеры работы OSINT-специалистов в ситуациях боевых действий и борьбы с преступниками довольно разнообразны. Вот некоторые примеры:

1) во время проведения специальной военной операции OSINT-специалисты задействованы для предоставления информации о движении группировок на территории, а также для сбора информации об активностях противников в социальных сетях. С помощью собранных данных удалось изучить вражескую силу и получить информацию о важных ресурсах врага;

2) в другом конфликте в Сирии OSINT-специалисты собирали информацию о террористических группировках, проводящих теракты и убийства. С этой информацией был создан интернет-ресурс, на котором была размещена информация о террористах и их преступлениях. Благодаря этому большое количество людей было избавлено от опасности;

3) в США специалисты использовали данные социальных сетей для выявления преступлений, которые могли совершиться в будущем. Кроме того, собирали информацию о гражданах США, которые могут быть связаны с террористическими группировками за рубежом [9].

ПО, которое лишь по одной детали способно установить множество данных, уже существует. Некоторые из них опираются на слитые базы, использование которых не является законным, некоторые имеют большой процент ошибок. Однако факт автоматизации в этой области точно присутствует.

### **Библиографический список**

1. ОСИНТ в текущих и будущих военных операциях. [Электронный ресурс]. – URL: <https://moderndiplomacy.eu/2023/02/06/osint-in-current-and-future-military-operations/> (дата обращения: 04.12.2023).

2. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общерос-

сийского голосования 01.07.2020) [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_28399/f703218d9357338507052de484404828b3da468e/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/f703218d9357338507052de484404828b3da468e/) (дата обращения: 03.11.2023).

3. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 N 152-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61801/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/) (дата обращения: 03.11.2023).

4. ГК РФ Статья 152.2. Охрана частной жизни гражданина [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5142/9c307a0f2164645c15ca4e3146ff5f6e56060b23/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/9c307a0f2164645c15ca4e3146ff5f6e56060b23/) (дата обращения: 03.11.2023).

5. Кто изобрёл радио? 9 вещей, которые придумали несколько ра. [Электронный ресурс]. – URL: <https://mel.fm/ucheba/fakultativ/2184763-invention> (дата обращения: 15.11.2023).

6. OSINT: разведка на основе открытых источников [Электронный ресурс]. – URL: <https://reputation.moscow/2020/12/04/osint-razvedka-na-osnove-otkrytyh-istochnikov/> (дата обращения: 15.11.2023).

7. Что такое парсер и как с ним работать [Электронный ресурс]. – URL: <https://romi.center/ru/learning/article/what-is-data-parsing> (дата обращения: 15.11.2023).

8. Данные фитнес-трекеров выдали местоположение секретных военных баз [Электронный ресурс]. – URL: <https://hightech.fm/2018/01/29/strava> (дата обращения: 04.12.2023).

9. OSINT специалисты и их роль в борьбе с госизменниками и проведении боевых действий [Электронный ресурс]. – URL: <https://vk.com/@nikitashahulov-osint-specialisty-i-ih-rol-v-borbe-s-gosizmennikami-i-proved> (дата обращения: 04.12.2023).

### Сведения об авторах

**Садыков Александр Мунирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационная безопасность» Казанского национального исследовательского технологического университета, г. Казань, e-mail: alex.sadykov@mail.ru

**Аргамонова Екатерина Александровна** – студент Казанского национального исследовательского технологического университета, г. Казань, e-mail: zlayakuca@gmail.com

**Д.В. Кириллов**

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, Самара

**О ФОРМИРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВА  
СОБЫТИЙ В СОБЫТИЙНО-ОБУСЛОВЛЕННОМ  
ДЕЛЕГИРОВАНИИ ПОЛНОМОЧИЙ**

Рассматриваются основные проблемы и пути их решения при построении событийных пространств в событийно-обусловленном делегировании полномочий на основе ролей. Дается определение основных терминов, описываются базовые алгоритмы и проводится их анализ.

**Ключевые слова:** контроль доступа на основе ролей, делегирование полномочий, алгоритмы, архитектура на основе событий.

**D.V. Kirillov**

Samara National Research University named after  
Academician S.P. Korolev, Samara

**A CREATION OF EVENTS SPACE OF EVENT-BASED  
PERMISSIONS DELEGATION**

The article discusses the main problems and ways to solve them when constructing event spaces in event-based permission delegation in role-based access control. Definition of basic terms is given; basic algorithms are described and their analysis is carried out.

**Keywords:** role-based access control, permission delegation, algorithms, event-driven architecture.

Делегирование является одним из методов управления распространением полномочий в механизмах разграничения контроля доступа на основе ролей [1, 2]. Однако, несмотря на многообразие предложенных формальных моделей делегирования [3], в настоящий момент не существует общепринятой стандартизированной модели делегирования полномочий. Автором работы была предложена модель событийно-



обусловленного делегирования полномочий, решающая проблему унификации разнообразных моделей на основе единого базиса – события [4].

Исходной точкой модели событийно-обусловленного делегирования полномочий является понятие «потребности».

Потребность – некоторое состояние, вызванное недостаточностью у некоторого пользователя полномочий, требуемых для выполнения операций в системе в связи с обстоятельствами, вызванными теми или иными событиями. События с высокоуровневой точки зрения возникают как проявления изменений в процессах, протекающих в организационной системе либо в элементах и отношениях между элементами самой организационной системы, либо во внешней среде.

С точки зрения конкретных автоматизированных информационных систем, в рамках которых реализуются механизмы разграничения и контроля доступа, событие есть результат изменения состояния либо самой системы как совокупности ее элементов и связей между ними либо контекстов функционирования как самой системы, так и контекстов функционирования активных компонентов системы (субъектов). Иерархия источников событий приведена на рис. 1.

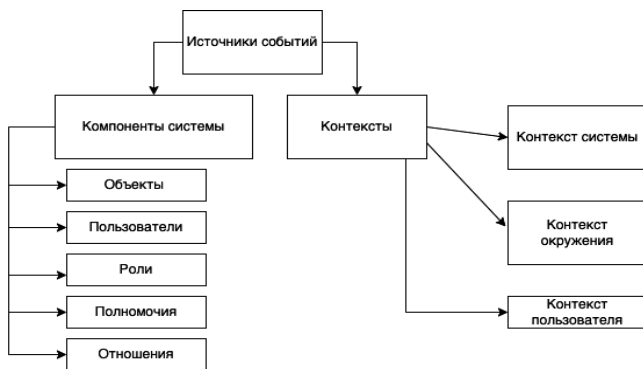


Рис. 1. Источники событий в системе

Размерность пространства возможных событий определяется как количеством элементов в каждой группе источников, так и количеством свойств и мощностью множеств допустимых значений этих свойств.

Легко предположить, что размерность такого пространства событий чрезвычайно велика, и с практической точки зрения необходимо

иметь некоторое редуцирование пространства событий, которое бы составляли только те события, возникновение которых может влиять на потребность выполнения операции делегирования полномочий.

Таким образом, первым шагом является редукция пространства событий. На этом шаге для каждой группы источников выделяются классы источников событий, в которые включают те классы, связанные с которыми события могут влиять на потребность в делегировании полномочий в системе. Далее для каждого из классов источников определяются свойства, изменения которых необходимо отслеживать.

На третьем шаге для каждого класса характеристик определяются измерения, которые могут использоваться для формирования правил и ограничений, после чего определяются возможные меры измерений.

На четвертом шаге определяются функции отображения значений исходных свойств событий в меры измерений классов, а также функции отображения соизмеримых свойств различных компонентов.

В результате формируется многомерное пространство событий, которое используется в рамках процесса управления событиями (рис. 2).

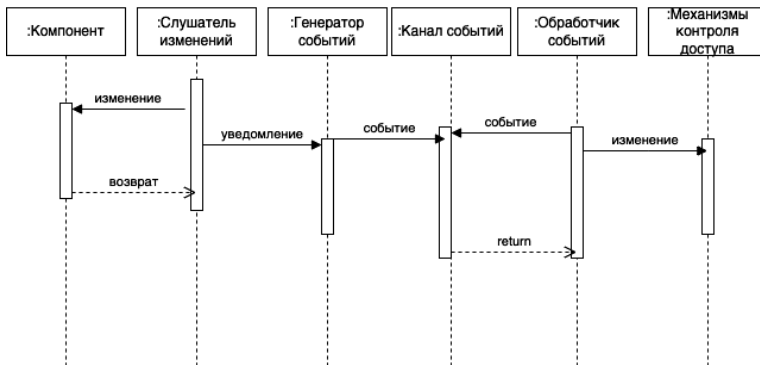


Рис. 2. Диаграмма активностей компонентов обработки событий

Процесс обработки событий представляется следующим алгоритмом:

1. Слушатели событий отслеживают любые изменения над компонентами системы, отнесенными к классам источников, формирующим пространство событий.
2. При фиксации изменений слушатель уведомляет генератор событий, который формирует событие в соответствии с определенными

правилами и заданными функциями отображения, после чего помещает его в канал событий.

3. Обработчик событий сопоставляет параметры события с правилами делегирования, проверяет выполнение ограничений и передает вызов механизмам контроля доступа.

4. Механизмы контроля доступа выполняют изменения над отношениями делегирования в рамках модели разграничения доступа.

Рассмотренные понятия и базовые алгоритмы определяют процесс управления событиями в рамках модели событийно-обусловленного делегирования полномочий.

### **Библиографический список**

1. Девянин П.Н. Модели безопасности компьютерных систем: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 075200 «Компьютер. Безопасность» и 075500 «Комплекс. обеспечение информ. безопасности автоматизир. систем». Сер. Высшее профессиональное образование. Информационная безопасность. – М.: Academia, 2005.

2. A composite RBAC approach for large, complex organizations / J.S. Park, K.P. Costello, T.M. Neven, J.A. Diosomito // Proceedings of ACM Symposium on Access Control Models and Technologies (SACMAT 2002), Yorktown Heights, NY, 02–04 июня 2004 г. – Yorktown Heights, NY, 2004. – P. 163–172. DOI: 10.1145/990036.990063

3. Кириллов Д.В. Классификация моделей делегирования полномочий в контроле доступа на основе ролей // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 1-1 (21). – С. 146–149.

4. Кириллов Д.В. Основные принципы событийно-обусловленного делегирования и отзыва полномочий в системах контроля доступа на основе ролей // Вестник Уфимского гос. авиацион. техн. ун-та. – 2009. – Т. 12, № 1. – С. 218–225.

### **Сведения об авторе**

**Кириллов Денис Викторович** – старший преподаватель кафедры «Безопасность информационных систем» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, г. Самара, e-mail: kirillov.dv@ssau.ru

**Г.Ф. Масич, М.Г. Батюков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **УСТАНОВКА И АДМИНИСТРИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПО СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

Исследуется возможность установки и администрирования операционных систем по сети передачи данных в условиях вуза. Для моделирования процесса используются средства виртуализации (виртуальные машины). Установка операционных систем выполняется с помощью технологии PXE. Администрирование операционных систем GNU/Linux выполняется с помощью системы управления конфигурациями Ansible.

**Ключевые слова:** ansible, linux, PXE.

**G.F. Masich, M.G. Batyukov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **INSTALLATION AND ADMINISTRATION OF OPERATING SYSTEMS OVER A DATA NETWORK**

This article explores the possibility of installing and administering operating systems over a data network in a university environment. To simulate the process, virtualization tools (virtual machines) are used. Operating systems are installed using PXE technology. Administration of GNU/Linux operating systems is performed using the Ansible configuration management system.

**Keywords:** ansible, linux, PXE.

Неотъемлемой частью современного технического вуза является большое количество автоматизированных рабочих мест. В состав автоматизированного рабочего места входит операционная система, следовательно, встает вопрос об установке и администрировании сразу множества операционных систем.

Для упрощения данной задачи и снижения трудозатрат учебно-вспомогательного персонала можно воспользоваться сетью передачи

данных. Для установки операционной системы по сети передачи данных необходимо воспользоваться технологией PXE. Для этого в локальной сети с компьютерами, на которые необходимо установить операционную систему, размещается загрузочный PXE сервер, на котором хранится образ устанавливаемой операционной системы в формате ISO. Для организации такого сервера была использована бесплатная программа iVentoy (рис. 1).

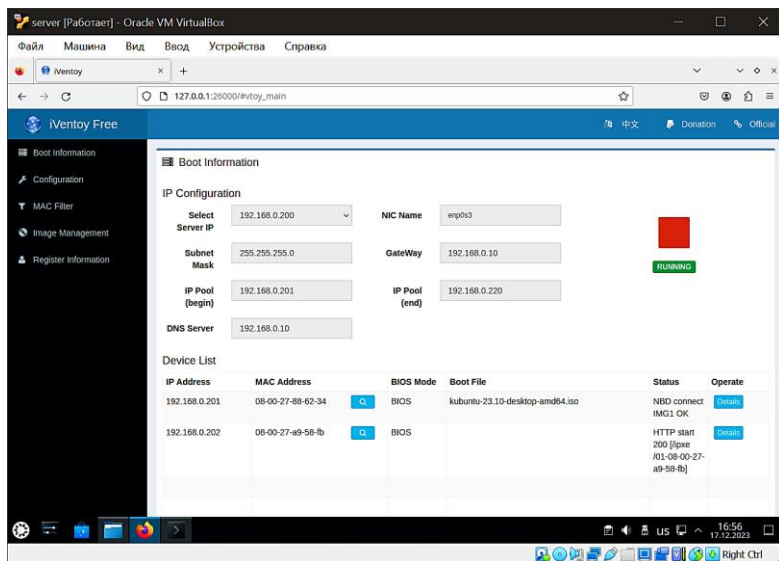


Рис. 1. Программа iVentoy с запущенным PXE-Boot сервером и списком подключенных компьютеров

Для установки операционной системы на подконтрольные компьютеры необходимо в BIOS выбрать приоритет загрузки в сетевую карту по технологии PXE (рис. 2).

После загрузки в сетевую карту, она ожидает IP адрес по протоколу DHCP от PXE-Boot сервера (рис. 3).

После получения IP адреса появляется меню выбора загрузочного образа операционной системы (рис. 4). Затем начинается стандартный процесс установки операционной системы.

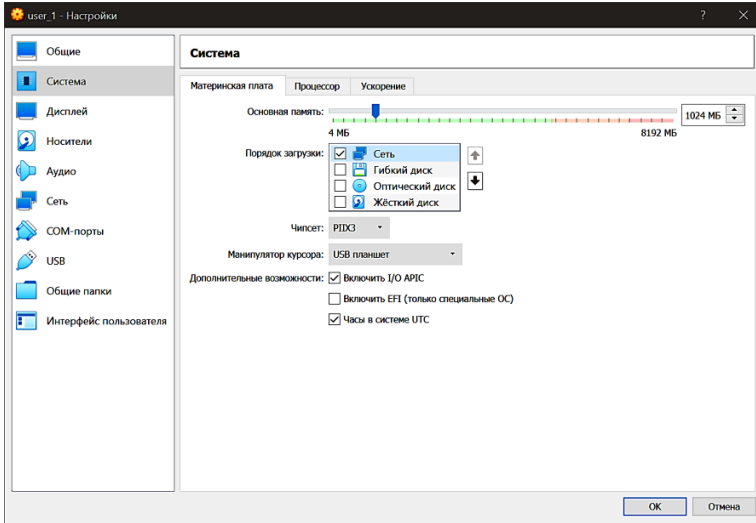


Рис. 2. Выбор приоритета загрузки

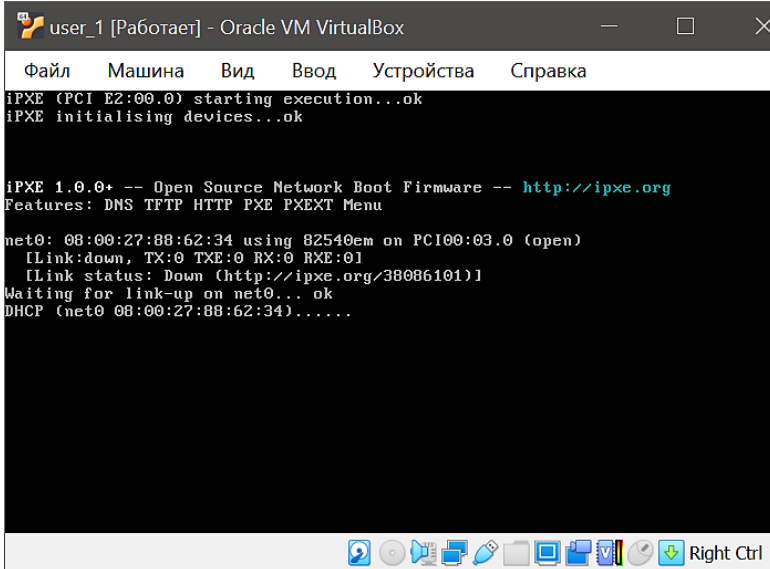


Рис. 3. Процесс загрузки в сетевую карту

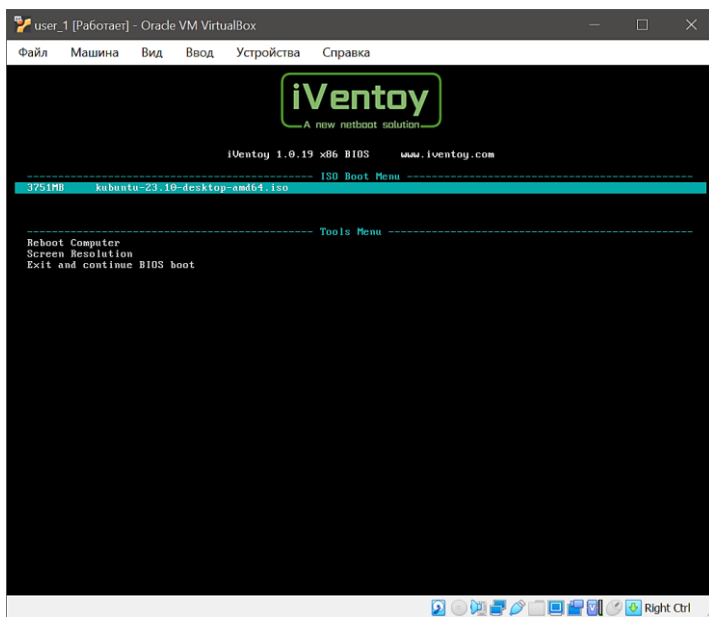


Рис. 4. Меню загрузчика, где можно выбрать операционную систему для установки

После установки операционной системы встает вопрос ее администрирования. Для администрирования сразу множества операционных систем GNU/Linux по сети передачи данных может использоваться система управления конфигурациями Ansible. Для этого необходимо установить Ansible только на тот компьютер, с которого будет производиться администрирование, а до подконтрольных компьютеров должен быть доступ по SSH. На вход Ansible подается конфигурационный файл с IP-адресами компьютеров, которые нужно администрировать, а также «playbook», который состоит из «tasks» (заданий), которые, в свою очередь, состоят из «module» (модулей) – маленьких операций, подобных командам в терминале Linux\* [1]. Общая топология с использованием технологий PXE и Ansible представлена на рис. 5.

---

\* Ansible documentation [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.ansible.com/> (дата обращения: 20.12.2023).

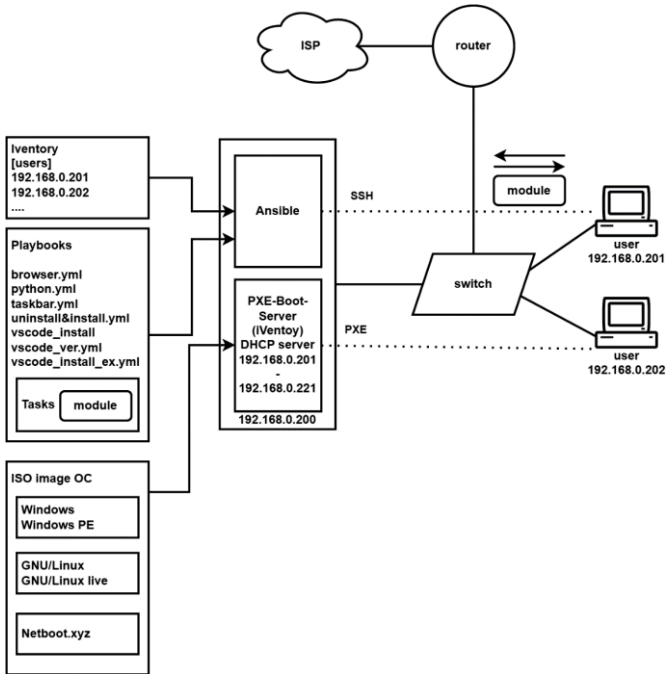


Рис. 5. Топология для установки и амнистирования множества операционных систем по сети передачи данных

На рис. 6 приведён результат выполнения playbook по установке на два узла мультимедиа-проигрывателя VLC.

```

max@max-VirtualBox:~/Desktop$ time ansible-playbook dep.yml --ask-become-pass
BECOME password:

PLAY [test_servers] *****

TASK [Gathering Facts] *****
ok: [192.168.0.135]
ok: [192.168.0.75]

TASK [Install vlc package] *****
changed: [192.168.0.75]
changed: [192.168.0.135]

PLAY RECAP *****
192.168.0.135      : ok=2    changed=1    unreachable=0    failed=0    skipped=0    rescued=0    ignored=0
192.168.0.75     : ok=2    changed=1    unreachable=0    failed=0    skipped=0    rescued=0    ignored=0

real    0m22.437s
user    0m2.623s
sys     0m0.449s
max@max-VirtualBox:~/Desktop$

```

Рис. 6. Результат выполнения playbook по установке пакета мультимедиа проигрывателя VLC на два узла



Предложенным образом можно реализовать процесс установки и администрирования множества операционных систем по сети передачи данных в вузе.

### **Сведения об авторах**

**Масич Григорий Фёдорович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: masich@icmm.ru

**Батюков Максим Георгиевич** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. АСУ9-23-1м, г. Пермь, e-mail: maxx14012001@yandex.ru

**А.Н. Кокоулин, Д.А. Тарутина**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МААС-СТИЛЕРА BLUEFOX**

Исследуется активность вредоносного программного обеспечения семейства стилеров, образец BlueFox, на следующих уровнях: операционной системы, сетевой активности стилера, методы маскировки в списке процессов и методы маскировки в файловой системе и реестре. Цель: осуществить анализ стилера BlueFox. Результаты: проведенный анализ позволил сформировать поведенческую картину активности MaaS стилера BlueFox. Практическая значимость: данное исследование является основой для дальнейшего изучения возможности и эффективности применения интеллектуальных методов с целью выявления вредоносного программного обеспечения семейства стилеров.

**Ключевые слова:** стилер, вредоносное программное обеспечение, сетевая активность, детектирование, BlueFox.

**A.N. Kokoulin, D.A. Tarutina**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **STUDY OF THE APPLICATION OF INTELLIGENT METHODS FOR DETECTING MAAS-STILLER BLUEFOX**

This article examines the activity of the stealer family of malware, the BlueFox sample, at the following levels: operating system, network stealer activity, camouflage methods in the process list, and camouflage methods in the file system and registry. Goal: to analyze the BlueFox stiller. Results: the analysis made it possible to form a behavioral picture of the activity of the MaaS stealer BlueFox. Practical significance: this study is the basis for further study of the possibility and effectiveness of using intelligent methods to identify malicious software of the stealer family.

**Keywords:** stealer, malware, network activity, detection, BlueFox.

Вредоносное программное обеспечение нарушает работу операционной системы, обеспечивает утечку данных и нарушает работу механизмов защиты [1]. Вредоносное программное обеспечение семейства стилеров нацелено на автоматическую кражу информации с хо-

ста-жертвы, чаще всего целью является учетная информация – логины и пароли. По результатам исследования нескольких крупных экспертных центров вышеуказанная информация является наиболее желаемой для злоумышленников [2]. Важно отметить, что за последние два года Россия поднялась с 95-го до 15-го места по числу пользователей, чьи данные были скомпрометированы с помощью исследуемого семейства вредоносного программного обеспечения.

Стартовая версия BlueFox впервые появилась в декабре 2021 г. Изначально версия презентовалась как комплексное решение для большого потока трафика с возможностью управления логами на основе введенной системы меток и профилей. BlueFox – нативный x86 исполняемый файл без использования CRT. Возможен запуск версий на следующих операционных системах: Windows 7 – Windows 11 (Windows Server 2008 R2 – Windows Server 2022). Большой интерес вызывает то, что связь с сервером на сокетах осуществляется через собственный протокол на TCP/IP в зашифрованном виде. Для скрытия основного сервера используется прокси-сервер. Данный стилер также имеет свою панель управления с большим количеством настраиваемых параметров и подводит статистику проведения атаки.

**Анализ секции загрузчика.** Для того чтобы изучить поведенческий анализ инфостилера BlueFox, необходимо извлечь опытный образец для анализа [3]. С первого взгляда это исполняемый файл, имеет довольно большой размер, примерно 355 Мб. Упаковщик неизвестен. Поэтому сначала необходимо распаковать образец, результат представлен на рис. 2. В файлах ресурса образца version.txt есть название программы BlueFox2.0.8.exe, что наглядно представлено на рис. 1.

```
{
  BLOCK "000004b0"
  {
    VALUE "FileDescription",  " "
    VALUE "FileVersion",     "0.0.0.0"
    VALUE "InternalName",    "BlueFox2.0.8.exe"
    VALUE "LegalCopyright",  " "
    VALUE "OriginalFilename", "BlueFox2.0.8.exe"
    VALUE "ProductVersion",  "0.0.0.0"
    VALUE "Assembly Version", "0.0.0.0"
  }
}
```

Рис. 1. Содержание файла version.txt вредоносного образца BlueFox

Образец сильно обфусцирован, поэтому, чтобы анализировать его, используем программное обеспечение NETReactorSlayer. Анализ трафика показал, что стилер использует собственный протокол на TCP/IP в зашифрованном виде. Длина полезной нагрузки зашифрована и помещена в начало пакета, затем размещается флаг-индексатор.

В разделе .data находился еще один исполняемый файл, в первых двух байтах символы MZ. Именно он и создает нужный для изучения трафик.

Имя	Размер
.rsrc	196 461
.data	169 984
.rdata	600
.reloc	1 536
.rsrc_1	7 878
.text	1 329

Рис. 2. Содержимое распакованного образца инфостилера BlueFox

**Анализ секции коммуникации.** Сетевой пакет от хоста-жертвы сформирован следующим образом, полезная нагрузка – число 0x19.

Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	Dump
00000000	04	00	00	00	00	19	00	00	00								.....

Рис. 3. Сетевой пакет клиента

При анализе кода можно заметить, что полезная нагрузка шифруется одним и тем же симметричным алгоритмом блочного шифрования AES (Advanced Encryption Standard), как приведено на листинге 1, режим ECB (electronic code book). Синтаксис криптографических сообщений описывается стандартом PKCS7.

Листинг 1 – часть кода, формирующая алгоритм шифрования данных

```
AesManaged aesManaged = new AesManaged();
try
aesManaged.Mode = CipherMode.ECB;
aesManaged.Padding = PaddingMode.PKCS7;
```

```
ICryptoTransform transform;
```

В первом сообщении от сервера передаются данные для ключа AES, как представлено на рис. 4.

```
Address  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f  Dump
00000000 20 00 00 00 00 00 18 00 00 00 00 00 00 00 08 1b 5a .....Z
00000010 91 c2 47 99 f3 74 f8 f2 4d 03 be 7a 96 4e ea 43 'BG^ytwTm.sz-NkC
00000020 16 f0 b6 af 25 .....p11%
```

Рис. 4. Ключ шифрования и его длина

0x18 – длина ключа (выделено красной рамкой), вес 192 бита. 081B5A91C24799F374F8F24D03BE7A964EEA4316F0B6AF25 – ключ для AES (выделено зеленой рамкой).

При дешифровании полезной нагрузки отправленного сообщения, как указано на рис. 5, можно заметить, что передан UUID, он используется для идентификации хоста-жертвы на сервере [4, 5].

```
Address  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f  Dump
00000000 66 39 63 35 38 30 31 66 2d 62 32 34 64 2d 34 38 f9c5801f-b24d-48
00000010 34 36 2d 39 34 62 39 2d 38 66 63 31 31 65 31 61 46-94b9-8fc1le1a
00000020 64 33 33 63 63 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 d33c.....
```

Рис. 5. Расшифрованная полезная нагрузка

При расшифровке самого большого сообщения от сервера можно заметить, что он содержит конфигурацию вредоносного программного обеспечения, как показано на рис. 6, в том числе имена файлов, которые указывают на элементы, которые стилер должен собрать.

```
000000a0 0000 1f00 0000 0000 0000 2452 4f41 4d49 .....$ROAMI
000000b0 4e47 245c 5073 692b 7073 692b 4d65 7373 NG$\Psisi+psi+Mess
000000c0 656e 6765 725c 7072 6f66 696c 6573 5c64 enger\profiles\d
000000d0 6566 6175 6c74 5c61 6363 6f75 6e74 732e efault\accounts.
000000e0 786d 6c00 0000 1300 0000 0900 0000 0300 xml.....
000000f0 0000 2400 0000 0000 0000 2452 4f41 4d49 ..$......$ROAMI
00000100 4e47 245c 4669 6c65 5a69 6c6c 6166 696c NG$\FileZillafile
00000110 657a 696c 6c61 4654 505c 7265 6365 6e74 ezillaFTP\recent
00000120 7365 7276 6572 732e 786d 6c00 5c73 6974 servers.xml.\sit
00000130 656d 616e 6167 6572 2e78 6d6c 0000 001b emanager.xml....
00000140 0000 0009 0000 0003 0000 0014 0000 0000 .....
00000150 0000 0024 5553 4552 5052 4f46 494c 4524 ...$USERPROFILES
```

Рис. 6. Информация о расшифрованной конфигурации

Таким образом, исследуемый образец проверяет все элементы списка из конфигурации на наличие в системе и при обнаружении читает и обрабатывает. Каждый найденный файл полностью загружается

в память, собирает данные, учитывая смещения в файле, и передает уже обработанную информацию дальше, следующей функции. Часть кода, формирующая запись файла в память, представлена на листинге 2. Полученные данные шифруются и отправляются на сервер.

Ниже, на рис. 7, представлен пример собранной стилером информации, среди которой можно увидеть характеристики компьютера, страну, IP-адрес и путь до файлов с собранными паролями.

logins	CREATE TABLE "logins" (origin_url VARCHAR	1	
origin_url	VA... "origin_url" VARCHAR NOT NULL	2	BLUEFOX STEALER v2.0
action_url	VA... "action_url" VARCHAR	3	
username_element	VA... "username_element" VARCHAR	4	
username_value	VA... "username_value" VARCHAR	5	Date: 01.09.2022 14:25:54 UTC
password_element	VA... "password_element" VARCHAR	6	Machine UUID: ea796919151
password_value	BLOB "password_value" BLOB	7	Windows: Windows 10
submit_element	VA... "submit_element" VARCHAR	8	Computer Name: HONG-PC
signon_realm	VA... "signon_realm" VARCHAR NOT NULL	9	User Name: test
preferred	INT... "preferred" INTEGER NOT NULL	10	Local Time: 02.09.2022 14:25:53 UTC
date_created	INT... "date_created" INTEGER NOT NULL	11	Processor: AMD Ryzen 9 5950X 16-Core Processor
blacklisted_by_user	INT... "blacklisted_by_user" INTEGER NOT NULL	12	Mem: 64 GB
scheme	INT... "scheme" INTEGER NOT NULL	13	MAC: 844488888888
password_type	INT... "password_type" INTEGER	14	
times_used	INT... "times_used" INTEGER	15	IP: 11.11.11
form_data	BLOB "form_data" BLOB	16	Country: Australia
date_synced	INT... "date_synced" INTEGER	17	CountryCode: AU
display_name	VA... "display_name" VARCHAR	18	Region Name: Queensland
icon_url	VA... "icon_url" VARCHAR	19	City: South Brisbane
federation_url	VA... "federation_url" VARCHAR	20	ZIP: 4201
skip_zero_click	INT... "skip_zero_click" INTEGER	21	IP TimeZone: Australia/Brisbane
generation_upload_status	INT... "generation_upload_status" INTEGER	22	Organization: APUC and Cloudflare DNS Resolver project
possible_username_pairs	BLOB "possible_username_pairs" BLOB	23	
id	INT... "id" INTEGER	24	SomeLake -> MSHSPROFILES\AppData\Local\ssh
date_last_used	INT... "date_last_used" INTEGER	25	Cyberduck -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\Cyberduck\Bookmarks
moving_blocked_for	BLOB "moving_blocked_for" BLOB	26	Keepass -> MSHSPROFILES\Documents
		27	WordPass -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\WordPass
		28	Exodus -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\Exodus\Exodus.wallet
		29	Frame -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\Frame\Signers
		30	Celoni -> MSHSPROFILES\AppData\Local\Icloud\Icloud\wallets
		31	Guarda -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\Guarda\Local Storage\level0b
		32	Atomic -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\Atomic\Local Storage\level0
		33	Espace -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\Espace
		34	Massabi -> MSHSPROFILES\AppData\Roaming\Wallet\Massabi\client\wallets
		35	Honoro -> MSHSPROFILES\Documents\Honoro\wallets
		36	Heraflux -> MSHSPROFILES\AppData\Local\Google\Chrome\User Data\Default\Local E
		37	Rabby -> MSHSPROFILES\AppData\Local\Google\Chrome\User Data\Default\Local E
		38	Bisurden -> MSHSPROFILES\AppData\Local\Google\Chrome\User Data\Default\Local E
		39	SPassord -> MSHSPROFILES\AppData\Local\Google\Chrome\User Data\Default\Indexed

Рис. 7. Собранная стилером информация и структура сформированной таблицы

Листинг 2 – часть кода, формирующая запись файла в память

```

MemoryStream memoryStream = new
MemoryStream(GClass25.ReadFile(e17668)) ;
Try
{
BinaryReader binaryReader = new BinaryReader
(memoryStream) ;
Try
{
memoryStream.Seek(20L, SeekOrigin.Begin) ;

```

Листинг 3 – часть кода, формирующая создание снимков экрана

```

Bitmap bitmap = new Bitmap (size_0.Width,
size_0.Height, PixelFormat.Format32bppRgb) ;
Try
(
Graphics graphics = Graphics.FromImage(bitmap) ;

```

```

Try
{
    MemoryStream.memoryStream = new MemoryStream();
Try
{
    Graphics.CopyFromScreen (0,0,0,0,bitmap.Size);
    EncoderParameters encoderParameters = new EncoderPa-
rameters (System.Drawing.Imaging.Quality, 35L);
Try
{
    ImageCodecInfo encoder = Image-
CodecInfo.GetImageCodecInfo().FirstOrDefault(new
Func<ImageCodecInfo, bool>(GClass1.b0e1957.JpegFormat));

```

После того как программа отправила собранные и зашифрованные данные на сервер, она самоуничтожается с хоста-жертвы с помощью команды Windows cmd.exe/C timeout 5 & del "%PATH%".

**Алгоритм работы стилера BlueFox.** Основные результаты анализа возможностей стилера BlueFox:

1. Стилер загружает файл формата MZ/PE.
2. Выполняется удаленный EXE-файл, права уровня Admin не требуются, стилер может работать с привилегиями User.
3. Проверяет настройки местоположения компьютера (исследует код страны, геозону).
4. Считывает данные пользователя (профиля веб-браузеров на базе Chromium и Firefox);
  - 4.1. Целью являются сохраненные данные браузера, сохраненные учетные данные, расширения паролей и файлов cookie [2].
  - 4.2. Считывает данные из локальной системы.
  - 4.3. Считывает учетные данные из файлов.
  - 4.4. Загружает файлы по ссылкам и имеет возможность их запуска. Существует угроза использования этой информации в качестве грузчика любого другого вредоносного программного обеспечения;
5. Проверяет установленное программное обеспечение в системе.
  - 5.1. Ищет ключевые записи удаления в реестре, чтобы перечислить программное обеспечение в системе.
  - 5.2. Захватывает файлы на всех дисках.

- 5.3. Делает снимки экрана.
- 5.4. Получает доступ к системе снятия отпечатков пальцев.
- 5.5. Считывает несколько разделов реестра операционной системы, чтобы идентифицировать зараженный компьютер.
- 6. Перечисляет физические устройства хранения информации.
  - 6.1. Взаимодействие с подключенным хранилищем/оптическими приводами.
- 7. Проверяет информацию о процессоре в реестре.
- 8. Создает запланированные задачи и отправляет результат на сервер.
  - 8.1. Вся работа с данными инициируется в памяти, не используя расширения dll.
  - 8.2. Файл с расширением .zip из %tmp% собирается на сервере самоудаляется после отправки.

Исходя из собранной информации, формируется вывод, что для детектирования исследуемого стилера BlueFox недостаточно основывать его на поиске зашифрованного контента, так как он динамичен. В таблице приведены технические средства для реализации метода извлечения отношений.

#### Средства разработки

№ п/п	Средство разработки	Назначение
1	Python 3.0	Написание алгоритма программы, описание основного функционала
2	NETReactorSlayer	Устранение обфускации вредоносного кода
3	DIE – Detect it Easy	Для определения типа компилятора вредоносного ПО, языка, библиотек
4	Hidra	Для реверс-инжиниринга
5	ADA PRO	Дополнительный инструмент для реверс-инжиниринга

**Закключение.** Были проанализированы особенности функционирования MaaS стилера BlueFox в зараженной системе. Это необходимый этап, который служит основой для дальнейшего изучения возможности и эффективности применения интеллектуальных методов с целью выявления вредоносного программного обеспечения семейства стилеров. На основании собранной информации сформирован вывод для дальнейших этапов исследования: для детектирования стилера BlueFox недостаточно основываться на поиске стилера через зашифрованный контент, так как он динамичен.



### Библиографический список

1. Джеймс Форшоу. Атака сетей на уровне протоколов. Руководство хакера по захвату и анализу сетевого трафика и эксплуатации уязвимостей, 2019. – 154 с.
2. Монаппа К.А. Анализ вредоносных программ/пер.с англ. Д.А. Беликова. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 452 с.
3. Zouheir Trabelsi. Kadhim Nayawi Arwa Al Braiki. Sujith Samuel Mathew. Сетевые атаки и защита. Практический подход. – 2013. – 419 с.
4. Moodle statistics. World Moodle registration map [Электронный ресурс]. – URL: <https://stats.moodle.org/>
5. Хабаров С.П., Шилкина М.Л. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2022. – 120 с.

### Сведения об авторах

**Кокоулин Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: a.n.kokoulin@at.pstu.ru

**Тарутина Дарья Андреевна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-22-1м, г. Пермь, e-mail: dasha\_tarutina19@mail.ru

**Е.Э. Казакова, А.С. Шабуров**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО  
ФАКТОРА НА ИНФОРМАЦИОННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ  
ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Анализируется проблема человеческого фактора в контексте обеспечения безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры. Рассматриваются угрозы безопасности информации, обусловленные человеческим фактором. Приводится метод оценки надежности человека на основе функционирования типовой схемы объекта и соответствующей математической модели. Рассматривается математическая постановка задачи оценки влияния человеческого фактора на безопасность объекта. Анализируются способы снижения влияния человеческого фактора на обеспечение безопасности объекта критической информационной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** критическая информационная инфраструктура, информационная безопасность, человеческий фактор.

**E.E. Kazakova, A.S. Shaburov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE HUMAN FACTOR  
ON THE INFORMATION SECURITY OF SIGNIFICANT OBJECTS  
OF CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURE**

The article analyzes the problem of the human factor in the context of ensuring the security of significant objects of critical information infrastructure. Threats to information security caused by the human factor are considered. A method for assess in ghuman reliability is presented based on the functioning of a typical object diagram and the correspond dingma the matical model. The mathematical formulation of the problem of assessing the in fluce of the human factor on the safety of an object is considered. Methods for reducing the in fluce of the hum an factor on ensuring the security of a critica in formation infrastructure facility are analyzed.

**Keywords:** critical information infrastructure, information security, human factor.

Человеческий фактор занимает крайне важную роль в обеспечении безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры (далее ЗОКИИ). Сотрудники, управляющие данными объектами, обученные основам информационной безопасности, могут помочь в предотвращении утечек данных, атак и других угроз либо стать их источниками. Регулярная подготовка персонала по вопросам информационной безопасности, установка адекватных политик и процедур, а также контроль за их соблюдением играют критическую роль в защите ЗОКИИ. С каждым годом совершенствуются системы защиты таких объектов, с технической стороны уровень защиты становится все выше, тем самым повышается процент уязвимостей, связанных с человеческим фактором.

Основные причины угроз, связанные с человеческим фактором:

- корыстные цели;
- эмоции;
- незнание;
- случайность.

Рассмотрим подробнее каждый фактор. Если сотрудники действуют из корыстных мотивов, это определено может стать угрозой информационной безопасности. Проявляется чаще всего через уклонение от политики безопасности, распространение конфиденциальной информации для личной выгоды или злонамеренные действия с целью нанесения ущерба организации.

Человеческие эмоции могут привести к необдуманным действиям или неверным решениям, которые, в свою очередь, будут угрожать информационной безопасности. Например, сотрудник, испытывающий гнев, может совершить действия, направленные на компрометацию информации, связанной с системой защиты. Также в группе риска недавно уволившиеся сотрудники, которые остались чем-то недовольны и хотят отомстить.

Незнание, а также забывчивость правил информационной безопасности могут привести к непреднамеренным угрозам, таким как случайное разглашение паролей, подрыв системы защиты или неправильная обработка конфиденциальных данных.

И также распространена случайность. Неконтролируемые действия, ошибки или недопонимание могут привести к информационным

уязвимостям. Примером может служить потеря устройств, содержащих конфиденциальные данные, отправка электронных писем на ошибочные адреса или случайное удаление важных файлов – все это может привести к серьезным угрозам информационной безопасности.

К сожалению, не существует универсальной формулы для расчета человеческого фактора в обеспечении безопасности ЗОКИИ, так как множество аспектов могут влиять на роль человеческого фактора. Это может включать в себя количество и разновидности инцидентов, результаты мониторинга безопасности, возраст, знания, способность принимать решения, внимательность, степень осведомленности персонала и многое другое.

В настоящее время в мировой научной литературе используются различные методы и модели оценки надежности человека (Human Reliability Assessment, HRA), а также оценка вероятности ошибки человека (Human Error Probabilities, HEP) [1].

Рассмотрим упрощенный типовой производственный объект, представленный на рисунке, в виде схемы сети, в которой управление объектом производится с помощью одного автоматизированного рабочего места оператора.

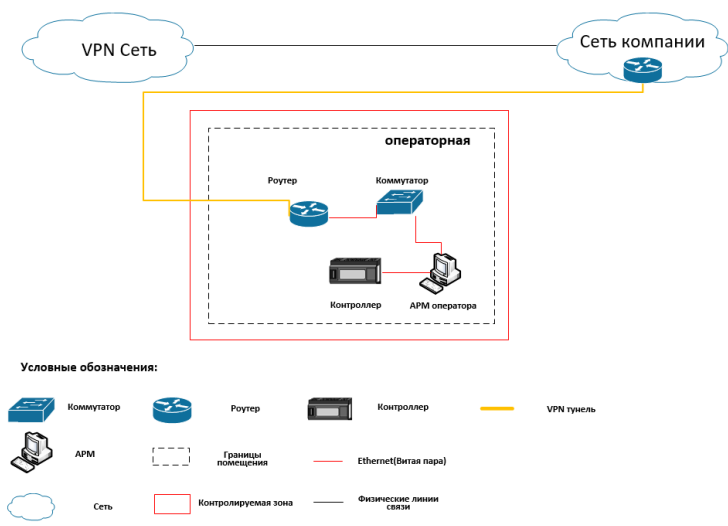


Рис. Схема сети упрощенного типового объекта

В работе [2] приведена следующая математическая модель для оценки НЕР в зависимости от подготовки специалиста, как представлено в формуле:

$$Q_1 = q_c + (q_0 - q_c) e^{(n/N)}, \quad (1)$$

где  $q_0$  – начальное значение частоты ошибок (до обучения);  $q_c$  – установившееся стационарное значение частоты ошибок (для обученных специалистов);  $n$  – полученный опыт (фактически накопленная сумма операций, выполненных специалистом в процессе работы с системой);  $N$  – количество операций, достаточное для обучения работы специалиста с конкретной системой.

В ряде работ [3–5] было отмечено, что НЕР существенно зависит от скорости поступления и обработки информации человеком. Была выведена аппроксимирующая зависимость между скоростью поступления и обработки информации и НЕР, представлена в формуле

$$Q_2 = \frac{\prod_{i=1, M} \left( \frac{n_i}{t_i} \right)^{\sqrt{3} k_i}}{K}, \quad (2)$$

где  $n_i$  – количество операций  $i$ -й группы;  $t_i$  – время в секундах, затраченное на выполнение  $i$ -й группы;  $k_i$  – весовые коэффициенты  $i$ -й группы операций, где сумма  $k_i$  при  $i$  от 1 до  $M$  равна 1;  $K$  – эмпирический поправочный коэффициент, равный 942;  $M$  – общее количество групп операций.

Выведенная общая математическая модель оценки влияния человеческого фактора представлена в формуле

$$P_{HRA} = (1 - Q_1)(1 - Q_2), \quad (3)$$

где  $Q_1$  – полученное значение по формуле (1);  $Q_2$  – полученное значение по формуле (2).

Для любого ЗОКИИ можно разработать свою формулу для расчета человеческого фактора в обеспечении безопасности ЗОКИИ, основанную на конкретных метриках и показателях заданной организации, которые позволят оценить влияние человеческого фактора в конкретном случае. Существует несколько способов снижения влияния человеческого фактора в обеспечении безопасности ЗОКИИ:

1. Обучение и повышение осведомленности. Регулярное обучение сотрудников в области информационной безопасности поможет им

понимать угрозы и риски, связанные с их действиями, и улучшит реакцию на потенциальные угрозы.

2. Установка строгих политик безопасности. Разработка и внедрение строгих и адекватных политик безопасности, включая использование паролей, доступ к информации, регламентирование использования переносных устройств и т.д., помогут минимизировать человеческие ошибки, а также уменьшить время на реагирование в нештатных ситуациях.

3. Технические меры безопасности. Использование технических инструментов для обеспечения безопасности информационной инфраструктуры, таких как системы мониторинга, шифрование данных, двухфакторная аутентификация и другие, также поможет уменьшить риск от человеческого фактора.

4. Мониторинг и анализ. Регулярный мониторинг действий сотрудников и анализ аудита безопасности помогут выявлять потенциальные уязвимости, связанные с человеческим фактором, и своевременно принимать меры для их устранения.

5. Обратная связь и мотивация. Система обратной связи и поощрения сотрудников за соблюдение политик безопасности также способствует снижению влияния человеческого фактора в обеспечении безопасности ЗОКИИ.

Применение комбинации этих подходов поможет снизить влияние человеческого фактора на безопасность значимых объектов критической информационной инфраструктуры. В целом снижение влияния человеческого фактора в обеспечении безопасности ЗОКИИ требует комплексного подхода, при соблюдении вышеизложенных способов данные действия способствует повышению уровня безопасности ЗОКИИ. Компании, которые активно работают над снижением влияния человеческого фактора, могут улучшить защиту своей критической информационной инфраструктуры и снизить уровень риска для своих бизнес-процессов.

### **Библиографический список**

1. Соловьев А.В. Моделирование влияния человеческого фактора на функционирование информационных систем. – М.: ИСА РАН, 2021. – 10 с.

2. Дружинин Г.В. Человек в моделях технологий. Ч. 1. Свойства человека в технологических системах. – М.: МИИТ, 1996. – 124 с.
3. Цибулевский И.Е. Ошибочные реакции человека-оператора. – М.: Сов. радио, 1979. – 208 с.
4. Военная инженерная психология / Б.Ф. Ломов [и др.]. – М.: Военное издательство, 1970. – 400 с.
5. Осака А.Б., Бузина Е.Я. Влияние человеческого фактора при обеспечении кибербезопасности на надежность объектов электроэнергетики и живучесть электроэнергетических систем [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/290379563\\_Vlianie\\_cheloveceskogo\\_faktora\\_pri\\_obespechenii\\_kiberbezopasnosti\\_na\\_nadezhnost\\_obektov\\_elektroenergetiki\\_i\\_zivucest\\_elektroenergeticeskih\\_sistem](https://www.researchgate.net/publication/290379563_Vlianie_cheloveceskogo_faktora_pri_obespechenii_kiberbezopasnosti_na_nadezhnost_obektov_elektroenergetiki_i_zivucest_elektroenergeticeskih_sistem) (дата обращения: 17.12.2023).

#### **Сведения об авторах**

**Казакова Елена Эдуардовна** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-22-1м, г. Пермь, e-mail: 2el@mail.ru

**Шабуров Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: shans@at.pstu.ru

**И.В. Байжев, А.Н. Кокоулин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОМОЩНИКА  
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИ-  
СТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Рассматривается возможность использования чат-ботов, работающих на основе искусственного интеллекта, для обучения сотрудников информационной безопасности. Для решения задач были проанализированы принципы обучения больших языковых моделей, произведен разбор технологии точной настройки Low-Rank Adaptation, собраны специализированные данные для обучения языковой модели, продемонстрирована работа созданного чат-бота.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, информационная безопасность, языковые модели, текстовые данные.

**I.V. Bayzhev, A.N. Kokoulin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ASSISTANT BASED  
ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES  
TO ENHANCE THE QUALIFICATION LEVEL  
OF INFORMATION SECURITY SPECIALISTS**

This article explores the possibility of using AI-powered chatbots for training information security personnel. To address the tasks, the principles of training large language models were analyzed, and a breakdown of the technology of precise tuning, Low-Rank Adaptation, was conducted. Specialized data for training the language model was collected, and the operation of the chatbot was demonstrated.

**Keywords:** artificial intelligence, information security, language models, textual data.

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) имеют широкий диапазон сценариев применения в области кибербезопасности. Ниже приведены примеры типов программного обеспечения (ПО), где интегрированы технологии ИИ.



– Endpoint Detection and Response (EDR) – система обнаружения атак на конечных точках. С помощью ИИ продукты данной категории способны выявлять и классифицировать неизвестные вредоносные ПО [1].

– Security Information and Event Management (SIEM) – продукты, целью которых является обнаружение инцидентов информационной безопасности (ИБ). Искусственный интеллект анализирует огромное количество обрабатываемых данных и помогает выявлять аномальные паттерны, свидетельствующие о потенциальных угрозах [1].

– Антифрод – системы, которые предотвращают угрозы в бизнес-процессах. В данных системах ИИ способен выявить и предотвратить мошеннические операции [1].

Применение искусственного интеллекта в кибербезопасности подчеркивает важность обучения сотрудников информационной безопасности, так как уровень квалификации кадров является ключевым фактором в совокупной стратегии защиты.

При этом на данный момент наблюдается дефицит кадров на рынке труда в сфере ИБ [2] и только 3,5 % сотрудников полностью соответствуют современным требованиям [3].

Повышать квалификацию сотрудников можно путем использования технологий ИИ. Например, ИИ может автоматизировать процесс создания обучающих курсов, материалов и тестовых заданий.

Целью статьи является разработка автоматизированного помощника, который способен анализировать законодательные и технические тексты, а именно нормативно-правовые документы, мануалы, сведения о программно-аппаратных средствах защиты информации (СЗИ). Знания подобного рода позволяют специалистам по ИБ обеспечивать соблюдение требований информационной безопасности.

Задачи:

1. Выбрать модель ИИ, которая способна анализировать текстовые данные.
2. Обучить модель для улучшения способности анализа в области ИБ.
3. Создать интерфейс для удобного взаимодействия пользователя с автоматизированным помощником под управлением ИИ.

Предполагается создать чат-бот в мессенджере «Телеграм», который будет отвечать на поставленные вопросы в области ИБ.

Создание чат-бота позволяет осуществить настройки в соответствии с требованиями информационной безопасности, что может быть сложнее достичь с использованием готовых решений, например, ChatGPT и BingChat, которые не обладают достаточной специализацией. К тому же данные модели не всегда имеют обновленную базу данных. Личный чат-бот можно настроить на анализ последних изменений в законодательстве.

**Основы LLM.** Для решения первой поставленной задачи были проанализированы модели искусственного интеллекта. Данную задачу способны реализовать большие языковые модели (Large Language Model, LLM) [4]. LLM обучаются на текстовых данных и способны к генерации текста, отвечая на запросы или выполняя другие задачи, связанные с языком.

Вторая задача, требующая выполнения, – это обучение. Общий принцип обучения LLM на рис. 1.



Рис. 1. Обучение LLM

В начале происходит сбор огромного количества текстовых данных, которые собираются из разнообразных источников, таких как интернет, книги, статьи, новости.

Далее происходит предварительная тренировка. Здесь модель обучается предсказывать каждый последующий токен (любой элемент текста), стремясь максимизировать вероятность правильного предсказания. На этом этапе модели обучаются общим закономерностям – структурным, грамматическим и семантическим особенностям языка.

Однако для того чтобы модель была способна выполнять определенные задачи в ИБ, требуется дообучить модель. На основе первоначальных данных модель научилась определять общие языковые правила. После предварительного обучения над языковой моделью можно произвести точную настройку для адаптации модели под конкретную область. Для этого требуется тренировка модели с учетом новых специализированных данных (законы РФ по ИБ, мануалы, руководства по администрированию и т.п.), так как знания, полученные из предварительной тренировки, могут быть недостаточными для корректной интерпретации и работы с особенностями узкоспециализированных областей.

После дообучения модель способна решать поставленные конкретные задачи. Например, интерпретировать юридические тексты в более простую для понимания форму, генерировать краткое содержание законодательных документов, отвечать на вопросы, основываясь на вводимой информации.

**Метод дообучения LLM.** Пример большой языковой модели – Llama 2 (Large Language Model Meta AI), которая доступна для исследовательских целей и предварительно обучена [5]. Однако Llama 2 требует точной настройки. Так как обучение LLM требуют больших вычислительных и финансовых затрат, для решения задачи был использован метод LoRA (Low-Rank Adaptation) [6], который намного быстрее и эффективнее расходует память.

На рис. 2 представлен процесс точной настройки отдельного набора весов.

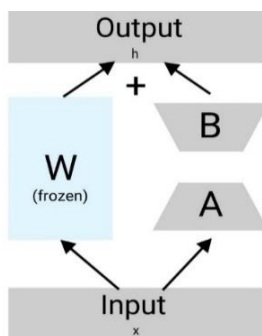


Рис. 2. Точная настройка отдельного набора весов

LoRA фиксирует параметры предварительно обученной модели, а именно исходную матрицу весов  $W$  и не изменяет в процессе точной настройки. Вместо этого LoRA вводит новый набор параметров, который представляет собой две матрицы низкого ранга  $A$  и  $B$ . Данные матрицы являются обучаемыми параметрами. В процессе обучения, то есть перемножения  $A$  и  $B$ , происходит обновление весов  $\Delta W$ . Входные данные  $X$  умножаются на предварительно обученную матрицу весов  $W_0$ . Затем происходит умножение  $X$  на матрицу  $\Delta W$ . Итоговый результат после применения обновлений к входу  $X$ :

$$h = W \cdot X + B \cdot A \cdot X, \quad (1)$$

где  $h$  – выходной сигнал модели после адаптации к новым задачам с использованием LoRA.

Обучение в LoRA происходит путем коррекции матриц  $A$  и  $B$  в процессе адаптации к новым задачам. Таким образом, сохраняется большая часть обучающей способности модели, уменьшив при этом размерность параметров.

**Создание датасета.** Чтобы произвести точную настройку на специализированных под ИБ данных, соберем датасеты. Источниками данных послужат законы и нормативные документы, статьи и сведения о СЗИ. После чего преобразуем данные в формат «вопрос – ответ» и сформируем датасет. Структура датасета для обучения:

Пример 1:

```
"instruction": " Федеральный закон "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" ",
```

```
"input": "",
```

```
"output": "Настоящий Федеральный закон регулирует отношения в области обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации (далее также – критическая информационная инфраструктура) в целях ее устойчивого функционирования при проведении в отношении ее компьютерных атак".
```

Пример 2:

```
"instruction": "Раскрытие персональных данных",
```

```
"input": "",
```

```
"output": "Умышленное или случайное нарушение конфиденциальности персональных данных".
```

Пример 3:

"instruction": "SIEM-система",

"input": "",

"output": "Средства, предназначенные для управления информационной безопасностью".

**Разработка автоматизированного помощника ИБ на базе LLM.** Далее создадим чат-бот в мессенджере «Телеграм» для удобного взаимодействия пользователя с ИИ. Как видно на рис. 3, бот отвечает на поставленные вопросы.

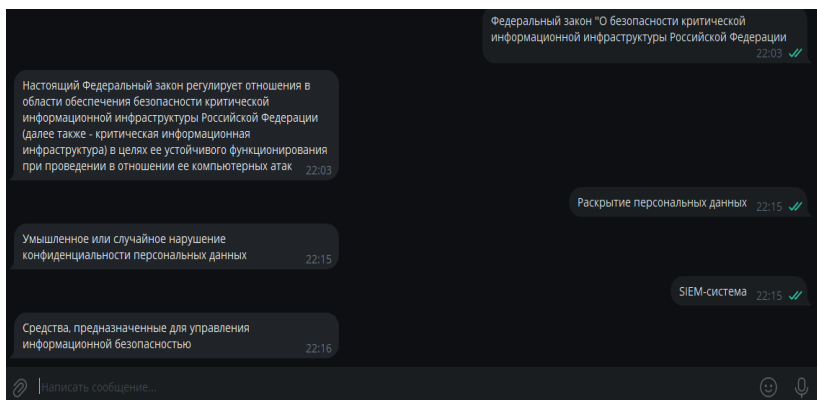


Рис. 3. Диалоговый интерфейс с чат-ботом

**Заключение.** Таким образом, был создан чат-бот, функционирующий на основе технологии искусственного интеллекта, а именно большой языковой модели. Данные модели можно использовать для анализа текстовых данных, однако требуется обучить модель для адаптации под область ИБ, используя специализированные источники.

### Библиографический список

1. ИБ и искусственный интеллект: новая ниша для разработок [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.antimalware.ru/analytics/Technology\\_Analysis/InfoSec-and-AI](https://www.antimalware.ru/analytics/Technology_Analysis/InfoSec-and-AI) (дата обращения: 10.12.2023).

2. Экономика Рунета // Цифровая экономика России 2022/2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://raec.ru/activity/analytics/9884/> (дата обращения: 11.12.2023).

3. Информационная безопасность (рынок России) [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Информационная\\_безопасность\\_\(рынок\\_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Информационная_безопасность_(рынок_России)) (дата обращения: 11.12.2023).

4. LLM: большие языковые модели, их значение, перспективы развития [Электронный ресурс]. – URL: [https://rdc.grfc.ru/2022/11/large\\_language\\_model\\_review/](https://rdc.grfc.ru/2022/11/large_language_model_review/) (дата обращения: 15.12.2023).

5. What is Llama 2? Meta’s large language model explained [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.infoworld.com/article/3706470/what-is-llama-2-metas-large-language-model-explained.html> (дата обращения: 16.12.2023).

6. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2106.09685> (дата обращения: 17.12.2023).

### **Сведения об авторах**

**Байжев Илья Вячеславович** – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-22-1м, г. Пермь, e-mail: bayzhev00@bk.ru

**Кокоулин Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета, г. Пермь, e-mail: a.n.kokoulin@at.pstu.ru

**Я.А. Гагарин**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, Пермь

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ЯДЕР CUDA**

Рассматриваются проблемы современных криптопровайдеров. Представлены технологии оптимизации криптографических процессов, в частности Nvidia CUDA, предназначенная для параллельных вычислений с использованием графических процессоров. Описана её архитектура. Также представлено сравнение видеокарты с процессором. Приводится пример кода, иллюстрирующий использование CUDA для оптимизации алгоритма ECC.

**Ключевые слова:** криптопровайдер, криптография, CUDA.

**Ya.A. Gagarin**

Perm National Research Polytechnic University, Perm

## **OPTIMIZATION OF CRYPTOGRAPHIC PROCESSES USING CUDA KERNELS**

This article discusses the problems of modern crypto providers. Technologies for optimization of cryptographic processes are presented, in particular Nvidia CUDA, designed for parallel computations using graphics processors. Its architecture is described. A comparison of a graphics card with a processor is also presented. A code sample illustrating the use of CUDA to optimize the ECC algorithm is given.

**Keywords:** crypto provider, cryptography, CUDA.

Современные технологии постоянно развиваются, и в сфере криптографии не стоят на месте. Вместе с развитием технологий растёт и количество обрабатываемой информации, обеспечение надёжной защиты информации становится приоритетом высшего порядка. Криптография как ключевая составляющая в сфере информационной безопасности постоянно сталкивается с вызовами, требуя инновационных подходов к повышению эффективности и безопасности своих процессов [1, 2].

Исследование научных статей позволяет выделить криптопровайдеры сталкиваются с ограничениями в обеспечении мультибраузерной и мультиоперационной совместимости. Эти ограничения представляют собой препятствие для эффективного преодоления конкурентных вызовов на рынке. В дополнение проблемы, связанные с производительностью, остаются актуальными, особенно в областях с высокой интенсивностью обмена данными, где оперативная обработка информации становится критически важной. Одним из возможных решений этих проблем является использование ядер CUDA.

**Nvidia CUDA.** CUDA (англ. Compute Unified Device Architecture) - программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений, разработанная компанией NVIDIA. Она позволяет программистам использовать мощности графических процессоров для повышения производительности параллельных вычислений [3].

Современный процессор функционально ориентирован на получение максимальной производительности при обработке целочисленных данных и данных с плавающей запятой, особо не заботясь о параллельной обработке информации. А архитектура видеокарты позволяет быстро и без проблем выполнять параллельную обработку данных, что увеличит быстроту вычислений. На рисунке наглядно показано схематичное представление CPU и GPU.

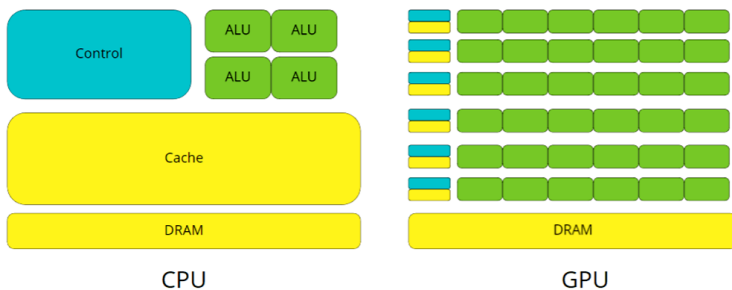


Рис. Сравнение CPU и GPU

Архитектура CUDA строится на взаимодействии процессоров центрального и графического. Их взаимодействие возможно благодаря использованию программных интерфейсов API на двух уровнях – Runtime API и Driver API. Runtime API предоставляет удобный высоко-



коуровневый доступ, позволяя разбивать задачи на потоки. С другой стороны, Driver API предоставляет более низкоуровневый доступ, предоставляя прямой контроль над функциональностью GPU.

Ядро в контексте CUDA представляет собой программу, выполняемую на графическом процессоре. Передача данных между CPU и GPU осуществляется через выделение необходимого объема памяти, который затем передается графическому процессору. После этого центральный процессор запускает ядро, которое также выполняется на графическом процессоре. Графический процессор обрабатывает операции, используя выделенную память и вычислительные ресурсы ядра. После завершения обработки данных результаты передаются обратно центральному процессору.

Таким образом, архитектура CUDA обеспечивает эффективное взаимодействие между CPU и GPU, позволяя использовать параллельные вычисления для ускоренной обработки данных.

### Разработка.

#### Средства разработки

№ п/п	Средство разработки	Назначение
1	Python	Написание алгоритма программы, описание основного функционала
2	PyCharm	Среда разработки для языка Python

Ниже представлен пример кода. Использование CUDA для алгоритма ECC библиотеки OpenSSL:

```
# Загрузка ядра CUDA
cuda_code = """
#include <stdint.h>

__global__ void sign_message(uint32_t *signature,
uint32_t *private_key, uint32_t *message) {
    int tid = threadIdx.x + blockIdx.x * blockDim.x;

    signature[tid] = private_key[tid] * message[tid];
}
"""
# Компиляция ядра
mod = SourceModule(cuda_code)
# Получение функции из скомпилированного ядра
```

```

sign_kernel = mod.get_function("sign_message")
# Генерация ключевой пары на хосте
private_key_host, _ =
ec.generate_private_key(ec.SECP256R1(),
default_backend())
private_key_int =
int.from_bytes(private_key_host.private_numbers().private_value.to_bytes(32, 'big'), 'big')
message_host = int.from_bytes(b"Hello, ECC!", 'big')

# Перевод данных на устройство
private_key_device =
cuda.to_device(private_key_int.to_bytes(32, 'big'))
message_device =
cuda.to_device(message_host.to_bytes(32, 'big'))

# Выделение памяти для результата на устройстве
signature_device = cuda.mem_alloc(32)

# Выполнение ядра
block_size = 32 # Настройте размер блока в зависимости
от конкретных требований
grid_size = (32 * 32) // block_size

sign_kernel(signature_device, private_key_device,
message_device, block=(block_size, 1, 1),
grid=(grid_size, 1))

# Перевод результата на хост
signature_host = bytearray(32)
cuda.memcpy_dtoh(signature_host, signature_device)

# Вывод результата
print("Сообщение:", message_host.to_bytes(32, 'big'))
print("Приватный ключ:", private_key_int.to_bytes(32,
'big'))
print("Подпись:", int.from_bytes(signature_host, 'big'))

```

Обратите внимание, что в реальном приложении потребуются более сложный код для обработки различных алгоритмов и управления ключами на GPU. Важно также помнить о безопасном хранении и передаче закрытых ключей, даже при работе с GPU.

**Закключение.** Оптимизация криптографических процессов с использованием ядер CUDA представляет собой перспективное направление

развития в сфере информационной безопасности. Перенос криптопровай- дера на ядра CUDA может привести к значительному увеличению произ- водительности и эффективности криптографических операций.

Важным аспектом данного подхода является использование па- раллельных вычислений, предоставляемых архитектурой CUDA. Гра- фические процессоры, спроектированные для обработки большого объема данных одновременно, обеспечивают высокую скорость вы- полнения вычислительных задач. Это особенно критично в области криптографии, где требуется обработка больших объемов данных для шифрования и дешифрования.

### **Библиографический список**

1. Ткачѳв А.В, Белаш В.Ю. Анализ криптопровайдеров для рабо- ты с электронной подписью // Тенденции развития науки и образова- ния : сб. науч. ст. – 2023. – № 98-10. – С. 154–157.

2. Антошкин В.А., Гудков А.Н. Создание подписи документов посредством библиотеки CryptoApi // Информатика и прикладная ма- тематика: сб. науч. ст. – 2017. –№ 23. – С. 5–9.

3. Phan CUDA-SSL: SSL/TLS accelerated by GPU / Lee Wai-Kong, Wong Xian-Fu, Goi Bok-Min, C.-W. Raphael // 2017 International Carna- han Conference on Security Technology, 07 December 2017.

### **Сведения об авторе**

**Гагарин Ярослав Алексеевич** – магистрант Пермского националь- ного исследовательского политехнического университета, гр. КЗИ-22-1м, г. Пермь, e-mail: freelayver@gmail.com

**А.М. Ломакина, Д.И. Понамаренко**

Самарский государственный университет  
путей сообщения, Самара

## **ОБНАРУЖЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ УСТРОЙСТВ В СЕТИ**

Представлен анализ проблем, возникающих при решении вопросов обнаружения и регистрации устройств в системе. На его основании был выбран подходящий способ, который не повлечет за собой изменение конструкции некоторых узлов системы, приводящих к незапланированной остановке работы, а также к непредвиденным тратам как в плане финансов, так и в плане времени, которое можно было использовать для других целей. В ходе контроля посещаемости студентов была доказана эффективность данного способа. Рассмотрен основной принцип работы, заключающийся в том, что происходит сканирование Bluetooth-устройств, запись mac-адресов этих устройств, изменение имени устройства в сети на данные студента. В дальнейшем данная информация сохраняется в базу данных и в файл. В конце файла сохранялась дата проведения занятия. Языком программирования был выбран Python как простой в использовании, обладающий богатым инструментарием.

**Ключевые слова:** Wi-Fi, Bluetooth, MAC-адрес, автоматизация, радиус действия, Python, функция.

**A.M. Lomakina, D.I. Ponomarenko**

Samara State University of Railway Engineering, Samara

## **DETECTION AND REGISTRATION OF DEVICES IN A NETWORK**

An analysis of the problems that arise when solving issues of detecting and registering devices in the system is presented. Based on this, a suitable method was chosen that would not entail changes in the design of some components of the system, leading to an unplanned stoppage of work, as well as unforeseen expenses, both in terms of finances and in terms of time that could be used for other purposes. Using this method to monitor student attendance, its effectiveness has been proven. The basic principle of operation is considered, which is that Bluetooth devices are scanned, the mac addresses of these devices are recorded, and the name of the device on the network is changed to the student's data. This information is subsequently saved to a database and a file. The date of the lesson was saved at the end of the file. Python was chosen as the programming language as it is easy to use and has a rich set of tools.

**Keywords:** Wi-Fi, Bluetooth, MAC address, automation, range, Python, function.

Время, затрачиваемое при обнаружении и регистрации устройств в системе, решает значительную роль для работы всей системы в целом. Поэтому необходимо провести анализ существующих способов и реализаций, на основании которого выбрать самый подходящий для того, чтобы в дальнейшем не переконструировать некоторые узлы системы, что приведет к незапланированной остановке работы, а также к непредвиденным тратам как в плане финансов, так и в плане времени, которое можно было использовать для других целей.

– потеря времени. Каждая переключка занимает определенное время, которое можно было бы использовать для других целей, например, для чтения лекции (объяснения новой темы), ответа на интересующие вопросы;

– отвлечение внимания. Когда студенты отвлекаются от занятия для переключки, их внимание распределяется между несколькими задачами. Это может затруднить концентрацию на учебном материале и снизить эффективность обучения;

– необходимость организации. Для проведения переключки требуется определенная организация: составление списков, проверка присутствующих студентов, контроль и фиксация результатов и т.д. Все это требует от преподавателя дополнительных усилий и времени.

Wi-Fi – это технология беспроводной передачи данных в рамках локальной сети, осуществляемой устройствами на основе стандарта IEEE 802.11. Простыми словами, это технология беспроводной связи, которая позволяет устанавливать соединение между различными устройствами без использования проводов. Ключевым преимуществом Wi-Fi является его мобильность. Пользователи могут перемещаться по помещению или даже переходить из одного помещения в другое, не теряя связи. Wi-Fi обеспечивает гибкость и свободу передвижения, что значительно улучшает комфорт использования гаджетов. Wi-Fi не относится к Интернету: он создает локальную сеть, в которой разные устройства (ноутбуки, принтеры, смартфоны) могут обмениваться данными без выхода во всемирную сеть. При подключении к провайдеру (через роутер, модем, точку доступа) устройства этой сети получают доступ в Интернет [1].

QR-код – это штрих-код, в котором зашифрованы название и пароль беспроводной сети. Чтобы пользователю подключиться, необходимо навести камеру смартфона на шифр, считать его специальным приложением и подождать 15–30 с. Устройство автоматически подключится к сети, данные для доступа не придется вводить вручную. В результате пользователь сможет увидеть название сети (высветится на экране при подключении), однако не узнает пароль [2].

MAC-адрес (Media Access Control address) – уникальный идентификатор, используемый в сетях для идентификации сетевых устройств. Он присваивается производителем оборудования и остается неизменным на протяжении всего срока эксплуатации устройства.

Еще одним важным аспектом MAC-адреса является его применение в системе Wi-Fi. Каждая точка доступа и Wi-Fi адаптер имеют собственный MAC-адрес, который используется для идентификации устройств в беспроводной сети. Благодаря этому можно контролировать доступ к сети, ограничивать или разрешать подключение конкретных устройств. Важно отметить, что MAC-адрес работает на физическом уровне сети и не зависит от протокола IP (Internet Protocol). Он несет информацию об устройстве и создает уникальную идентификацию в пределах локальной сети [3].

Bluetooth – это беспроводная технология, которая позволяет устанавливать короткодистанционное соединение и обмениваться данными между различными устройствами [4]. Радиус действия определяется многими факторами, в том числе версией технологии, а также мощностью самого передатчика. Минимальный радиус – 10 м. Такое покрытие обеспечивает почти любое устройство, скорость передачи будет большой, а соединение – стабильным [5]. Было предложено использовать Bluetooth. Так, у авторов статьи имелось в распоряжении более 100 устройств, над которыми можно было провести эксперимент. Языком программирования был выбран Python, так как он надежен и прост в использовании, а также обладает богатым инструментарием.

В Python можно легко написать лаконичный и читаемый код. Разработчики могут спокойно заниматься задачами, которые стоят перед ними при помощи ML, не обращая внимания на технические нюансы языка [6].

Изобразим примерный алгоритм реализуемой программы.

1. Включение Bluetooth на опытном устройстве.
2. Включение Bluetooth на контролируемом устройстве.
3. Запуск программы на контролируемом устройстве.
4. Получение списка обнаруженных устройств.

Так как один из авторов является преподавателем, то было выдвинуто предложение протестировать код на примере контроля посещаемости студентов. Смысл в том, что у большинства студентов имеются смарт-часы, а это значит, что Bluetooth постоянно включен (не берем во внимание то, что некоторые могут отключать его для уменьшения расхода батареи смартфона или ставить режим самолета).

Поэтому автор просил студентов включить Bluetooth на своих смартфонах, а также переименовать их согласно своему имени и названию группы.

Далее включался Bluetooth на ноутбуке, запускался скрипт кода, написанный в Rucharm (скрипт кода приложен далее по тексту).

По завершении работы скрипта записывался файл с записанными в нем словарями обнаруженных устройств. По мере необходимости происходила корректировка фамилии/имени, а также перезапуск поиска, если не обнаруживались некоторые устройства (на данном шаге у авторов возникла некоторая проблема, связанная с работой технологии Bluetooth на некоторых смартфонах).

1. Совместимость. Одной из частых причин проблем с Bluetooth является несовместимость устройств. Различные поколения Bluetooth-адаптеров могут использовать разные версии протокола, что может вызывать конфликты и перебои в передаче данных. Также некоторые устройства могут не быть полностью совместимыми между собой из-за уникальных особенностей и настроек.

2. Расстояние и преграды. Bluetooth-соединение имеет ограниченную дальность действия. Обычно для стабильной передачи данных рекомендуется находиться на расстоянии не более 10 м от устройства – источника сигнала. Дополнительным фактором, мешающим соединению, могут быть преграды, такие как стены, мебель или другие объекты. При наличии преград сигнал может ослабевать или быть полностью перекрытым, что приведет к проблемам с Bluetooth.

3. Электромагнитные помехи. Вокруг нас существует множество устройств, работающих на подобных частотах, как и Bluetooth. Наличие других электромагнитных источников, таких как Wi-Fi роутеров, стиральных машин, микроволновых печей и т.д., может стать причиной возникновения проблем с Bluetooth-соединением. Электромагнитные помехи могут вызвать сбои в передаче данных или снизить качество связи [7]. В конце файла сохранялась дата проведения эксперимента. Рассмотрим функции скрипта.

На листинге 1 написана функция для сканирования ближайших устройств и запись полученных MAC-адресов с именем устройства в виде словаря «ключ – MAC-адрес», «значение – имя устройства». Функция возвращает словарь.

Листинг 1 – Функция обнаружения устройств

```
def find_devices():
    print("Ищем студентов...")
    nearby_devices = discover_
er_devices(lookup_names=True)
    for addr, name in nearby_devices:
        devices[addr] = name
    return devices
```

На листинге 2 написана функция записи полученного словаря в файл для дальнейшего хранения и редактирования. После записи можно добавить в конце или в начале дату произведения записи.

Листинг 2 - Функция записи данных в файл

```
def write_to_file(devices):
    with open('text.txt', 'w') as file:
        for key, value in device.items():
            file.write(f'{key}: {value}\n')
    return print("Записан файл...")
```

На листинге 3 написана функция создания нового словаря с прочитанными данными из ранее записанного текстового файла. Это сделано для того, чтобы сравнить полученный список и ранее скорректированный список устройств. Данное сравнение необходимо для вывода корректных данных, так как студент может изменить название устройства и будут неверные данные.

Листинг 3 – Функция создания нового словаря

```
def create_new_dictionary():
```



```

with open('text.txt') as file:
    lines = file.read().splitlines()
dic = {}
for line in lines:
    key, value = line.split(': ')
    dic.update({key: value})
return dic

```

На листинге 4 написана функция, в которой происходит сравнение с найденными устройствами и устройствами, записанными ранее. Это сделано еще и для того, чтобы не выводить лишние устройства, случайно попавшие в радиус действия (мимо проходящих студентов). Происходит сравнение по ключу. Если ключ совпадает, значение записывается в список студентов и выводится в консоль.

Листинг 4 – Функция сравнения и вывода в консоль

```

def compare_and_print():
    student_list = []
    devices_from_bluetooth = find_devices()
    devices_from_file = ceate_new_dictionary()
    for key, value in devices_from_bluetooth.items():
        for k, v in devices_from_file.items():
            if key == k:
                student_list.append(v)
    print(student_list)

```

Дальнейшая работа позволит реализовать автоматическую отправку в журнал и отметки о присутствии студентов.

Пример работы скрипта, на рис. 1, 2.



Рис. 1. Запуск функции поиска и записи

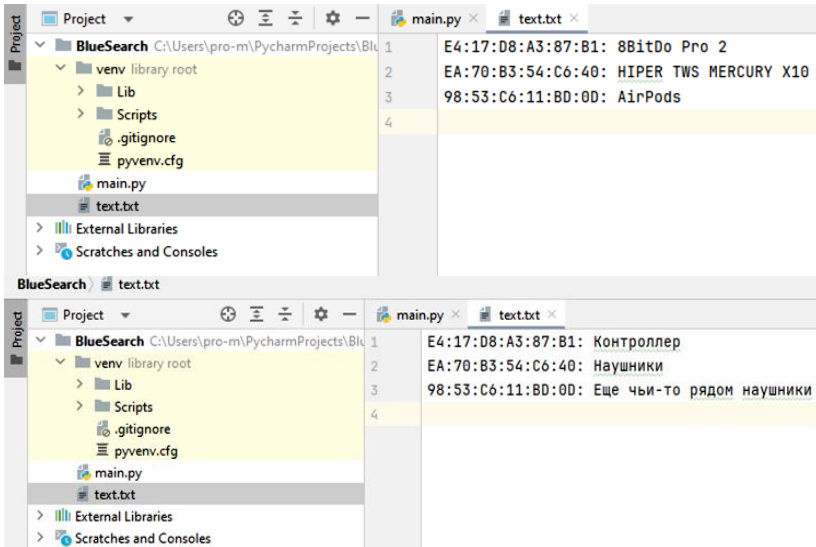


Рис. 2. Обнаружение устройств и корректировка названий

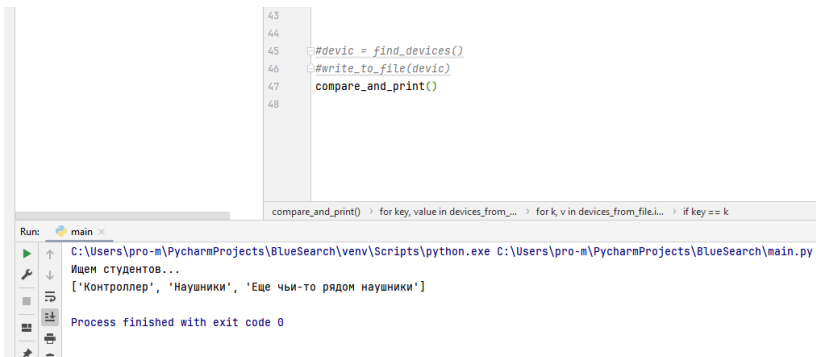


Рис. 3. Повторный поиск и вывод списка

На рис. 3 видно, что названия устройств имеют те названия, которые мы прописали ранее. Так как MAC-адрес не изменился, устройство нашло опять эти устройства, сравнило MAC-адреса с записанными ранее и вывело те названия, которые мы им дали.

## Библиографический список

1. Help Wi-fi.ru [Электронный ресурс] // Просто о сложном: как работает Wi-Fi и что это вообще такое. – URL: <https://help-wifi.ru/tekh-podderzhka/chto-takoe-wi-fi/> (дата обращения: 13.09.2023).

2. Всё о Wi-Fi технологии [Электронный ресурс] // Как подключиться к Wi-Fi на любом устройстве Android с помощью QR-кода. – URL: <https://awifi.ru/qr-code-on-android/> (дата обращения: 13.09.2023).

3. Мобильная связь и Технологии [Электронный ресурс] // MAC-адрес: разбираемся что это такое. – URL: <https://timeweb.com/ru/community/articles/komanda-ping-podrobnyy-obzor> (дата обращения: 13.09.2023).

4. Журнал «Код» [Электронный ресурс] // Что такое Bluetooth и как он распознается. – URL: <https://thecode.media/bluetooth-2/> (дата обращения: 13.09.2023).

5. Help-WiFi.ru [Электронный ресурс] // Технология Bluetooth: принцип работы, важные нюансы. – URL: <https://help-wifi.ru/tekh-podderzhka/bluetooth/> (дата обращения: 13.09.2023).

6. PYTHONIST [Электронный ресурс] // Почему Python – лучший язык для машинного обучения и ИИ? – URL: <https://pythonist.ru/pochemu-python-luchshiy-yazyk-dlya-mashinnogo-obucheniya-i-ii/> (дата обращения: 13.09.2023).

7. AnyQuestion [Электронный ресурс] // Why problems arise with Bluetooth and how to avoid them. – URL: <https://ru.anyquestion.info/a/pochemu-voznikayut-problemy-s-blyutuzom-i-kak-ih-izbezhat> (дата обращения: 13.09.2023).

## Сведения об авторах

**Ломакина Анна Максимовна** – студентка Самарского государственного университета путей сообщения, гр. ТБб-01, г. Самара, e-mail: [annl0makina@yandex.ru](mailto:annl0makina@yandex.ru)

**Понамаренко Денис Иванович** – старший преподаватель кафедры «Механика и инженерная графика» Самарского государственного университета путей сообщения, г. Самара, e-mail: [d.ponamarenko@samgups.ru](mailto:d.ponamarenko@samgups.ru)

**Н.Д. Маринин**

Национальный исследовательский ядерный  
университет «МИФИ», Москва

**ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧИ О РЮКЗАКЕ**

Освещается применение метода динамического программирования для решения классической задачи оптимизации – задачи о рюкзаке. Проводится анализ и улучшение существующих алгоритмов, в частности, предлагается использование специальных методов кодирования информации для оптимизации процесса решения задачи. Экспериментально демонстрируется, как новые методы кодирования могут сделать процесс более эффективным, особенно в условиях ограниченных ресурсов.

**Ключевые слова:** задача о рюкзаке, динамическое программирование, оптимизация алгоритмов.

**N.D. Marinin**

National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow

**OPTIMIZATION OF THE DYNAMIC PROGRAMMING  
METHOD FOR SOLVING THE BACKPACK PROBLEM**

In this article we discuss the application of dynamic programming to solve the classic optimization problem - the knapsack problem. The analysis and improvement of existing algorithms, particularly proposing the use of special information coding methods to optimize the problem-solving process. The paper experimentally demonstrates how new coding methods can make the process more efficient, especially in resource-constrained environments.

**Keywords:** knapsack problem, dynamic programming, optimization of algorithms.

Представлен обзор классического метода динамического программирования для решения задачи о рюкзаке, а также разработка и анализ улучшенного алгоритма с использованием кодирования информации. Целью работы является демонстрация того, как применение новых методов кодирования может оптимизировать процесс решения

задачи о рюкзаке, делая его более эффективным в условиях ограниченных ресурсов\*.

**Динамическое программирование.** Задача о рюкзаке – классическая проблема комбинаторной оптимизации, используемая в экономике, логистике, информатике и криптографии.

В криптографии важнейшей характеристикой этой задачи является практическая криптостойкость, определяемая в результате ее алгоритмического решения. Наиболее быстрым алгоритмом решения задачи о рюкзаке является динамическое программирование. Однако динамическое программирование имеет высокую сложность по памяти и может быть неэффективным при больших объемах данных. В связи с этим актуальна задача улучшения этих алгоритмов, в частности, через специальные методы кодирования, сокращающие объем используемой памяти. В работе представлены специальный метод кодирования информации при использовании динамического программирования для задачи о рюкзаке и анализ улучшенного таким образом алгоритма.

Известный базовый алгоритм нахождения точного решения задачи о рюкзаке методом динамического программирования описывается в статье [1]. Приведем пример расчета по таблице весов. Количество предметов в наборе откладывается по строкам ( $k$ ), возможные веса укладок ( $s$ ), в ячейке  $A_{ks}$  указывается максимальная сумма, не превышающая  $s$ , которую можно составить с использованием  $k$  первых предметов.

$$A_{ks} = \begin{cases} A_{(k-1)s}; & s < w_k, \\ \max(A_{(k-1)(s-w_k)} + w_k; A_{(k-1)s}); & s \geq w_k. \end{cases}$$

Рассмотрим пример. Предположим, что предметы имеют веса (1; 3; 4; 6; 9; 11), целевой вес  $w = 1 + 3 + 6 + 9 = 14$ , ключ для этого веса (1; 1; 0; 1; 1; 0). Соответствующая таблица будет иметь 15 ( $w + 1$ ) столбцов ( $0 \leq s \leq w$ ) и 7 ( $n + 1$ ) строк ( $0 \leq k \leq n$ ). Нулевая строка (тривиальные решения подзадачи размерности 0) и нулевой столбец таблицы (задача с нулевой максимальной весом 0) являются нулевы-

---

\* Куприяшин М.А., Борзунов Г.И. Исследование алгоритма точного решения задачи о рюкзаке методом динамического программирования // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2016. – №17. – С. 121–130.

ми. Далее табл. 1 заполняется в соответствии с приведённым выше процессом принятия решения.

**Потребляемые ресурсы.** Предположим, что у нас есть  $n$  предметов, каждый из которых имеет вес, и рюкзак целевую вместимость  $W$ .

Таблица 1

Веса укладок

k \ s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	1	1	1	11	1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	0	1	1	3	4	5	5	7	8	8	8	8	8	8	8
4	0	1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	13	14
5	0	1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	0	1	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Сложность по времени  $O(n \cdot W)$ , где  $n$  – количество предметов, а  $W$  – вместимость рюкзака. Это связано с тем, что алгоритм исследует каждую комбинацию веса и количества предметов.

Сложность по памяти будет  $O(n \cdot W \cdot b)$ , где  $n$  – количество предметов,  $W$  – максимальный вес, который может вместить рюкзак,  $b$  – размер в байтах одного элемента в таблице.

**Эксперимент.** Для проверки и анализа алгоритма был реализован программный код на языке C# .NET 6.0. Выполнение кода производилось на персональном компьютере с процессором Intel Core i7-12700h, 32GB DDR5. Для повышения точности результатов для расчета потребления памяти бралось среднее значение для выбранной группы плотности укладки рюкзачного вектора, проводилось по 25 запусков для каждой размерности задачи.

На рис. 1 показан график зависимости потребления памяти от размерности задачи и плотности укладки рюкзачного вектора. Синей линией показано среднее потребление памяти для разных плотностей укладок рюкзачных векторов. Синяя линия показывает среднее потребление памяти для плотностей до 0,9, красная для плотностей выше 0,93.

Рис. 2 иллюстрирует зависимость времени нахождения решения от размера задачи и плотности укладки рюкзачного вектора. Синяя линия показывает среднее время нахождения решения для плотностей до 0,9, красная для плотностей выше 0,93 соответственно.

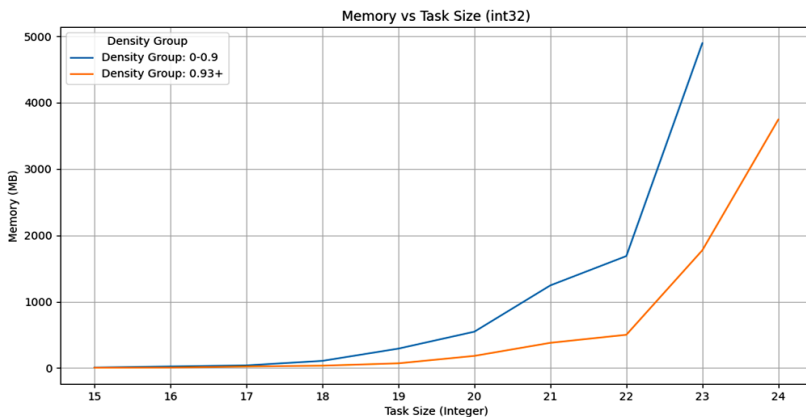


Рис. 1. Использование памяти и размерность задачи

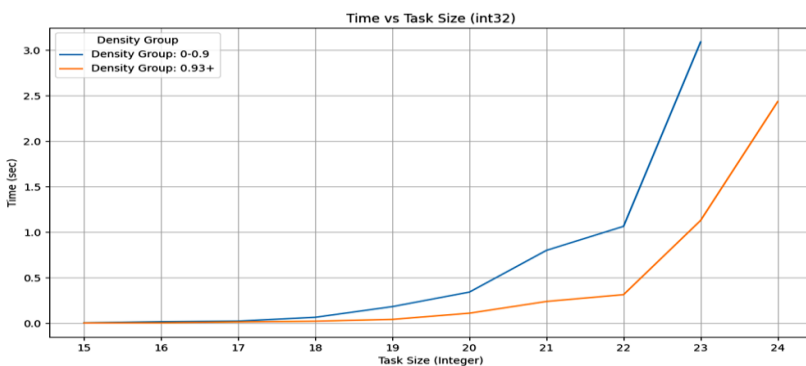


Рис. 2. Время выполнения и размерность задачи

**Улучшения алгоритма при помощи кодирования.** Для сокращения использования памяти в задаче о рюкзаке можно использовать битовые массивы (BitArray), кодируя значения не числами, а битовыми значениями (0 и 1). Это экономит память, так как элемент массива BitArray занимает 1 бит в отличие от 4 байт у Int32. В улучшенном алгоритме создается двумерный битовый массив размером  $(n + 1) \times (\text{targetWeight} + 1)$ , где  $n$  – количество предметов,  $\text{targetWeight}$  – целевой вес. Ячейка массива будет иметь значение «1», если можно получить вес  $j$ , используя первые  $i$  предметов. Массив заполняется проверкой, можно ли доба-

вить текущий предмет, учитывая его вес и предыдущие значения. Поиск решения происходит аналогично классическому алгоритму, но с использованием битового кодирования. Если  $dp[n][targetWeight] == 1$ , существует комбинация предметов с весом  $targetWeight$ , и алгоритм восстанавливает эту комбинацию. Пример заполнения таблицы для случая, рассмотренного ранее в табл. 1, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Кодирование при помощи битового кодирования

k\j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
5	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Для нового алгоритма был реализован новый программный код и выполнено сравнение с исходной реализацией.

Теоретическое превосходство по использованию памяти подтвердилось. Размер затрачиваемой памяти в 32 раза меньше по сравнению с исходным алгоритмом. Далее сравним время выполнения. На графике (рис. 3, 4) явно видно, что сохраняется увеличение требуемого размера памяти при меньшей плотности.

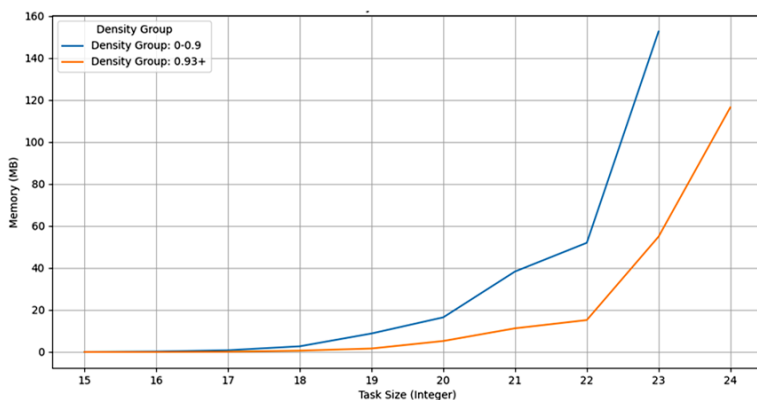


Рис. 3. Зависимость памяти от размера задачи



На рис. 3 показана зависимость потребления памяти от размерности задачи и плотности укладки рюкзачного вектора.

Обозначение групп задач по плотности укладки схожи с графиками выше. Зависимость сохраняется по сравнению с алгоритмом без дополнительного кодирования.

На рис. 4 показана зависимость времени нахождения решения от размера задачи и плотности укладки рюкзачного вектора. Зависимость по времени сохраняется по сравнению с рис. 2.

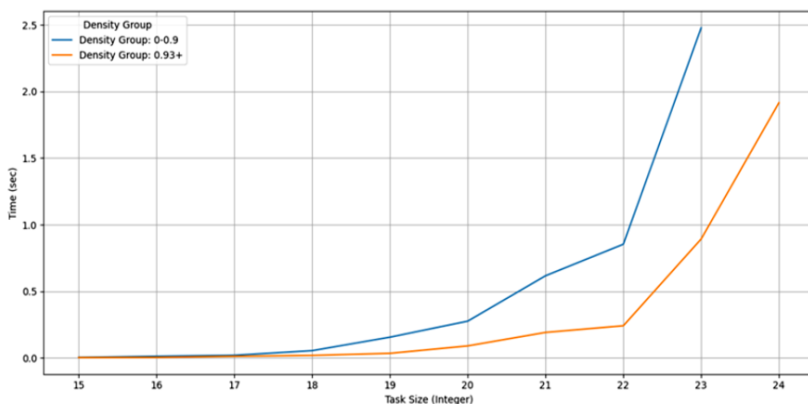


Рис. 4. Зависимость времени от размера задачи

При решении задачи о рюкзаке с точным методом двумерный массив играет ключевую роль. Динамическое программирование, применяемое для нахождения точного решения, требует хранения промежуточных результатов на каждом этапе. Двумерный массив обеспечивает быстрый доступ к этим данным, ускоряя выполнение алгоритма. Он также позволяет учитывать все комбинации весов и предметов для оптимального решения и упрощает восстановление набора предметов, приведших к этому решению. Использование одномерного массива вместо двумерного делает невозможным точное восстановление решения.

**Закключение.** Рассматривалась возможность улучшения известного метода динамического программирования для решения задачи о рюкзаке. Известно, что основным ограничением метода динамического программирования является не большая временная сложность, а большая

сложность по памяти, что приводит к высоким требованиям оперативной памяти при выполнении вычислений. Для уменьшения сложности по памяти был предложен метод кодирования.

Была разработана программная реализация алгоритма динамического программирования, использующего предложенный метод кодирования. Для этой программной реализации был выполнен вычислительный эксперимент, результаты которого показали снижение требований по памяти по сравнению со стандартным представлением данных от 32 до 64 раз (в зависимости от типа используемых данных), что свидетельствует об эффективности предложенного метода кодирования.

### **Сведения об авторе**

**Маринин Никита Денисович** – магистрант Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», гр. М22-507, г. Москва, e-mail: minidi99@mail.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Секция 1. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>Рагозин А.Н., Плетенкова А.Д.</b> Применение цифрового спектрального анализа для оценки структуры variability биомедицинских сигналов .....	4
<b>Ruzimov S.K., Zhang Jianzhong.</b> A comprehensive study of fault detection in induction motors using machine learning algorithms .....	12
<b>Мышко Р.А., Куракина Н.И., Бурдин Р.А.</b> Цифровая модель дорожно-транспортной сети для оценки влияния на загрязнение воздуха в городах .....	22
<b>Синецкий Р.М., Каличенко С.Н.</b> Использование карты глубины для определения расстояния от предмета до объекта .....	29
<b>Килин Г.А., Шадрин А.В.</b> Математическая формулировка задачи формирования искусственной нейронной сети для синтеза суррогатных моделей .....	37
<b>Килин Г.А., Пашков И.А.</b> Разработка программных средств исследования и синтеза суррогатных моделей .....	46
<b>Советов С.И., Тюрин С.Ф.</b> Разработка топологии логического элемента программных логических интегральных схем с дешифрацией набора переменных .....	51
<b>Горбачев Д.А.</b> Основы стратегического планирования на предприятиях ИТ-отрасли по производству и распространению облачных программных продуктов .....	59
<b>Орлов А.В., Тюрин С.Ф.</b> Автоматическое резервирование схем в программных логических интегральных схемах с использованием языка VHDL .....	67
<b>Дементьев М.А., Тюрин С.Ф.</b> Генетический алгоритм получения множества тестовых наборов логических элементов программных логических интегральных схем, реализующих системы функций .....	74
<b>Черноиван Н.Д.</b> Роль интеллектуальных технологий в разработке сайта образовательной организации .....	81

<b>Бигаева М.А.</b> Спецификация требований как инструмент проектирования моделей данных информационной системы стоматологической клиники .....	86
<b>Семенюк В.В., Складчиков М.В.</b> Разработка алгоритма классификации эмоционального состояния субъекта на основании речевых данных с использованием пакета MatLab .....	92
<b>Борзунов Г.И., Новикова П.А., Прохорова Е.А.</b> Использование компьютерных технологий для нового применения палитры вологодской хохломы при создании объектов современного дизайна .....	101
<b>Жильников А.В., Мардгалимов И.Р., Красильников А.А., Осанов В.А.</b> Разработка программного обеспечения для статистического анализа данных .....	108
<b>Глухова О.А., Сторожев С.А.</b> Разработка прототипа системы управления складским роботом .....	114
<b>Баракаева Л.В., Шакирова Д.М.</b> Интеграция искусственного интеллекта в управленческие решения: эффективность, тенденции и перспективы .....	122
<b>Бабаев Р.Ф., Пасхин М.А.</b> Применение нейросетевых моделей для определения характеристик объектов недвижимости .....	127
<b>Кашко В.В., Олейникова С.А.</b> Анализ методов обучения с подкреплением для управления роботизированными системами .....	133
<b>Куций Д.Н.</b> Формализация структуры научной статьи с помощью контекстно-свободной грамматики .....	141
<b>Баранов М.В.</b> Асинхронная хореография микросервисов с использованием Apache kafka .....	146
<b>Мартусевич М.А.</b> Использование библиотеки TSPLIB для исследования алгоритмов решения задачи коммивояжера .....	151
<b>Мухаметсафин Р.Т., Гарипова М.А., Сторожев С.А., Гаркушин А.А.</b> Исследование погрешности акселерометра ICM-20689 на базе полетного контроллера CUAV V5+ с помощью критерия $\chi^2$ .....	156

<b>Раковская Д.Я.</b> Управление рисками программных проектов на примере системы «Личный календарь прививок» .....	162
<b>Джейранян А.Д.</b> Имитация анкетирования Кроуфорда посредством нейросетевого чат-бота .....	167
<b>Безукладников Ю.А., Плотников П.А., Шенин Я.Д., Наборщиков А.А.</b> Модель аналого-цифрового преобразователя переменной разрядности на базе нейронной сети в среде Simulink MatLab .....	175
<b>Джейранян А.Д., Плаксин М.А.</b> Применение генеративного искусственного интеллекта для выявления рисков в программном проекте: экспериментальное исследование .....	183
<b>Волков А.В., Крылова С.Л., Марченко А.В., Ивлиев С.Н.</b> Оценка рисков информационной безопасности для информационной системы на основе нечеткой логики .....	191
<b>Исайкин Е.Д.</b> Управление рисками для проекта, включающего машинное обучение и генеративный искусственный интеллект .....	195
<b>Мантурова Д.А., Спирина А.М., Тиунова Н.О.</b> Использование функционально-стоимостного анализа при проектировании программного продукта .....	199
<b>Федосеев Д.С., Нерослов А.Д.</b> Управление рисками для разработки информационной системы федерального органа .....	208
<b>Горева В.А., Тюрин С.Ф.</b> Исследование оптимизации автоматной модели в системе автоматизированного проектирования Quartus .....	214
<b>Кайсина М.Д., Вологдин С.В.</b> Автоматизация бизнес-процесса по публикации данных о договоре в единую информационную систему .....	223
<b>Rajović Je., Vešović M., Mylnikova A.V.</b> English for specific purposes in the context of road traffic engineering curricula and teaching process automation approaches .....	227
<b>Бусыгина С.А., Тарутин А.В.</b> Увеличение эффективности тестирования за счет внедрения автотестов .....	243

<b>Секция 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ .....</b>	<b>249</b>
<b>Лавров К.М., Тюрин С.Ф., Гончаровский О.В.</b> Программная реализация автомата в микроконтроллерах с использованием IDE .....	250
<b>Улюков А.С., Евсеев А.Н.</b> Использование системы автоматизированного проектирования технологических процессов «ТехноПро» при проектировании технологических процессов изготовления электронных модулей изделия авиационного приборостроения .....	257
<b>Суслов А.И., Килин Г.А., Кавалеров Б.В., Грибков И.Н.</b> Обзор применения суррогатного моделирования. Изучение возможностей применения нейросетевых технологий в суррогатном моделировании для разработки систем управления .....	265
<b>Калимуллина И.И., Шайхутдинова А.М.</b> Роль механики в разработке и проектировании эффективных систем робототехники .....	273
<b>Белов И.А., Зиятдинов И.Р.</b> Исследование перспективных методов адаптации системы управления газотурбинной установки .....	277
<b>Щербинин Д.А., Обухова М.В., Килин Г.А.</b> Применение перспективного электроприводного реверсивного устройства .....	283
<b>Фрасын П.Г., Комбаров Ю.С.</b> Концепция клиент-серверной архитектуры при разработке современной системы диспетчеризации и мониторинга параметров технологического процесса .....	290
<b>Рябинина О.А., Болдырев А.И., Болдырев А.А., Левин Д.Ю.</b> Возможности использования цифровых двойников станочного оборудования на предприятиях машиностроения .....	297
<b>Редькин Д.С., Левин Д.Ю., Рябинина О.А.</b> Проблемы использования третьей координаты в лазерно- гравировальных станках .....	303

<b>Самотья А.А., Юдин Р.Ю., Титов Ю.К.</b> Имитационная модель электропривода инновационной системы топливпитания малоразмерного газотурбинного двигателя .....	308
<b>Иванов П.В., Шмидт И.А.</b> Реализация нейросетевого ПИД-регулятора обучением с учителем .....	315
<b>Графкин А.В., Понамаренко Д.И.</b> Разработка прототипа базового модуля масштабируемой роботехнической системы моделирования сложных поверхностей для динамических испытаний при использовании различных протоколов связи для передачи данных .....	319
<b>Дыкий А.Д., Крылова И.А.</b> Математическая модель асинхронного привода с частотным управлением .....	326
<b>Афанасьев М.В., Уразбахтина Л.Р.</b> Автоматизация процесса принятия решений в деятельности предприятия .....	334
<b>Микишева П.А., Мустафина Н.И.</b> Анализ системы контроля операций ремонта электродвигателей по методике функционально-стоимостного анализа .....	339
<b>Азанов И.С., Билоус О.А.</b> Автоматизация системы приточно-вытяжной вентиляции на ледовой арене .....	346
<b>Арасланов А.Ф., Бачурин А.А.</b> Выбор системы автоматического проектирования для учебно-исследовательской работы по 3D-моделированию производственного щита распределения и учета электроэнергии .....	350
<b>Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ. ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....</b>	357
<b>Амирханова А.Ф., Баракаева Л.В., Новоселова О.С.</b> Анализ методов интеграции электронных устройств и датчиков в механические системы для улучшения управления автономными системами .....	358
<b>Маврин А.И.</b> Разработка математической модели станции быстрой зарядки электромобилей .....	363
<b>Зацепина О.А., Широков А.А.</b> Применение интеллектуальной технологии LoRaWAN в сфере жилищно-коммунального хозяйства .....	369

<b>Ахметзянова А.Т., Филимонова А.А., Чичирова Н.Д.</b> Использование различных направлений потока для повышения производительности обратного электродиализа .....	374
<b>Сажин И.Ю.</b> Исследование пусковых характеристик синхронного двигателя с элеткромагнитным возбуждением от различных источников питания .....	379
<b>Конев К.А., Чабанов Е.А.</b> Перспективная схема электроснабжения района при децентрализованном управлении.....	386
<b>Белов И.А., Чабанов Е.А., Зиятдинов И.Р.</b> Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения .....	392
<b>Лыкасов П.В., Кушнин Б.М.</b> Анализ применения дистанционного зондирования с целью мониторинга электросетевого хозяйства .....	396
<b>Мальцев И.А., Поливина А.И., Чабанов Е.А., Литвин А.С.</b> Возможность повышения эффективности работы погружного насоса путем замены привода с асинхронного двигателя на вентильный .....	404
<b>Литвин А.С., Мальцев И.А.</b> Анализ методов неразрушающей диагностики и контроля узлов и элементов электрических машин переменного тока .....	409
<b>Секция 4. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....</b>	417
<b>Полыгалов А.А.</b> Разработка плана реконструкции сети передачи данных с применением технологии FTTB .....	418
<b>Ежова К.С., Фрейман А.В.</b> Исследование технологии VLAN с использованием среды моделирования Cisco Packet Tracer ...	423
<b>Трушкин Е.С., Гаврилов А.В.</b> Разработка имитационной модели многопортового коммутатора в системе AnyLogic ....	431
<b>Балашов И.В., Тюрин С.А.</b> Модернизация корпоративной сети телефонной связи на базе ECSS-10 Softswitch .....	437
<b>Фёдоров В.А.</b> Анализ использования мультивендорного оборудования в современных сетях: обзор .....	444
<b>Цыплякова А.В.</b> Проектирование магистральной волоконно-оптической линии связи на основе технологии DWDM .....	451



<b>Равилов А.Д.</b> Исследование фазовой автоподстройки частоты .....	458
<b>Евфименко В.Д.</b> Разработка программно-аппаратного комплекса для тестирования телекоммуникационных жгутов .....	463
<b>Пугачев И.А., Хромцова А.Н., Теплых Н.А.</b> Моделирование активного фильтра Чебышева .....	470
<b>Миков И.И., Посягин А.И.</b> Разработка методов исследования местности и построения карты с помощью подвижных агентов .....	477
<b>Букирева Ю.М., Тур А.И.</b> Наивный байесовский алгоритм в качестве основы функционирования спам-фильтра .....	485
<b>Бабенко К.Е., Каменских А.Н.</b> Использование Sap Focused Run для создания политики безопасности конфигурации ERP-систем .....	492
<b>Каменских А.Н. Власов В.Ю.</b> Минимизация привилегий в модели ролевого доступа .....	499
<b>Садьков А.М., Евдокимов А.А.</b> DDoS-атака и как от неё защититься .....	506
<b>Садьков А.М., Артамонова Е.А.</b> Применение Open Source Intelligence для поиска и идентификации .....	513
<b>Кириллов Д.В.</b> О формировании пространства событий в событийно-обусловленном делегировании полномочий .....	520
<b>Масич Г.Ф., Батюков М.Г.</b> Установка и администрирование операционных систем по сети передачи данных .....	524
<b>Кокоулин А.Н., Тарутина Д.А.</b> Исследование применения интеллектуальных методов для выявления Maas-стилера BlueFox .....	530
<b>Казакова Е.Э., Шабуров А.С.</b> Исследование влияния человеческого фактора на информационную безопасность значимых объектов критической информационной инфраструктуры .....	538
<b>Байжев И.В., Кокоулин А.Н.</b> Разработка автоматизированного помощника на основе технологий искусственного интеллекта для повышения уровня квалификации специалистов в области информационной безопасности .....	544

<b>Гагарин Я.А.</b> Оптимизация криптографических процессов с помощью ядер CUDA .....	551
<b>Ломакина А.М., Понамаренко Д.И.</b> Обнаружение и регистрация устройств в сети .....	556
<b>Маринин Н.Д.</b> Оптимизация метода динамического программирования для решения задачи о рюкзаке .....	564

Научное издание

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ,  
ИНСТРУМЕНТЫ, ПРАКТИКА**

Материалы XV Международной  
интернет-конференции молодых ученых,  
аспирантов, студентов  
(20 ноября – 31 декабря 2023 г.)

---

Подписано в печать 16.08. 2024. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 36,18. Тираж 20 экз. Заказ 132.

---

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета.  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел. (342) 219-80-33.  
Отпечатано в типографии издательства Пермского  
национального исследовательского  
политехнического университета.  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел. (342) 219-80-33.