

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»**

при поддержке:  
Российской академии естественных наук  
Академии наук Республики Башкортостан  
Общественной организации  
«Профессионалы дистанционного обучения»  
Ассоциации образовательных программ  
«Электронное образование Республики Башкортостан»  
Российского союза научных и инженерных  
общественных объединений  
Партнерского центра  
международного сертификационного холдинга IMQ

# **Информационные технологии Проблемы и решения**

У ф а  
УНПЦ "Издательство УГНТУ"  
2 0 2 2

**Информационные технологии. Проблемы и решения.** – Уфа: УНПЦ "Издательство УГНТУ", 2022. 1(18). 112 с.

**Information technology.** – Ufa: UNPC "USPTU Publishers", 2022. 1(18). 112 p.

**Учредитель:**

**ФГБОУ ВО Уфимский государственный  
нефтяной технический университет**

**2022, 1(18)**

Издается с 2014 г.

**РЕДКОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор**

Р.Н. Бахтизин, первый проректор Уфимского государственного нефтяного технического университета, д-р физ.-мат. наук, профессор

**Члены редколлегии**

Ю.Н. Белоножкин, канд. экон. наук, доцент кафедры финансы и кредит Сочинского государственного университета

Й. Дарадке, доцент, заместитель декана факультета вычислительной техники и сетей Университета принца Саттама бин Абдулазиза (PSAU) - Королевство Саудовская Аравия (KSA)

Ф.У. Еникеев, д-р техн. наук, профессор кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета

В.В. Ерофеев, д-р техн. наук, профессор, руководитель Челябинского регионального отделения РАЕН

Н.В. Корнеев, д-р техн. наук, профессор кафедры управления безопасностью сложных систем Губкинского университета, член-корр. РАЕН

И.М. Михайловская, ст. преподаватель кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета

Е.А. Султанова, канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета, член-корр. РАЕН

В.Н. Филиппов, канд. техн. наук, доцент кафедры вычислительной техники и инженерной кибернетики Уфимского государственного нефтяного технического университета, действительный член РАЕН

© ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», 2022

© Коллектив авторов, 2022

Полнотекстовая версия выпуска размещена в Научной электронной библиотеке elibrary.ru по ссылке:

[https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=61250](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=61250)

Подробности на сайте: <http://vtik.net>

Отпечатано с готового электронного файла.

Подписано в печать 02.03.2022. Формат 60x80/16. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 6,51. Тираж 800 экз. Заказ 148.

Учебный научно-производственный центр "Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета"

Адрес учебного научно-производственного центра "Издательство Уфимского государственного нефтяного технического университета": 450064, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

**Founder:**

**FSBEU NE Ufa State Petroleum  
Technological University**

**2022, 1(18)**

Published since 2014

**EDITORIAL BOARD**

**Editor-in-Chief**

R.N. Bakhtizin, Dr. of Physical and Mathematical Sci., Professor, First Vice-Rector of Ufa State Petroleum Technological University

**Editorial Board Members:**

Yu. N. Belonozhkin, PhD Economic Sci. Department of Finance and Credit Sochi State university

Dr. Yousef Daradkeh, Associate Professor and Assistant Dean for Administrative Affairs, Department of Computer Engineering and Networks, Prince Sattam bin Abdulaziz University (PSAU) - Kingdom of Saudi Arabia (KSA)

F.U. Enikeev, Dr. of Technical Sci., Professor of Department of Computer Science and Engineering Cybernetics Ufa State Petroleum Technological University

V.V. Yerofeyev, Dr. Sci. Professor, Head of the Chelyabinsk regional branch of RANS

N.V. Korneev, Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of Safety Management of Complex Systems, Gubkin University, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences.

I.M. Mikhaylovskaya, Senior Lecturer of Department of Computer Engineering and Engineering Cybernetics Ufa State Petroleum Technological University

E.A. Sultanova, PhD, Deputy Head of Department of Computer science and Engineering cybernetics Ufa State Petroleum Technological University, corresponding member RANS

V.N. Filippov, PhD, Deputy Head of Department of Computer science and Engineering cybernetics of Ufa State Petroleum Technological University, Full member of the RANS

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Киреев К.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ В MULTISIM.....	5
Федоров С.В., Вагапов Р.Р. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ГАРМОНИЧЕСКИМ АНАЛИЗОМ В СРЕДЕ BORLAND DELPHI.....	13
Абросимова М.А. ИНСТРУМЕНТАРИЙ ФРЕЙМВОРКА PROM ДЛЯ БЫСТРОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССА.....	20
Изосимова С.А., Пигуз В.Н., Ивашко К.С. АНАЛИЗ НОРМАЛИЗУЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЕЗМЕДИКАМЕНТОЗНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО-ДУХОВНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИХ ДЛЯ САМОРЕГУЛЯЦИИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЛИЧНОСТИ	26
Никулина Ю.С., Ткаченко А.Л., Федорова В.А. ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ КАК ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОДУКТ.....	38
Мехтиев Ш.А. АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	42
Мухаметрахимов М.Х. ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ.....	48
Черников В.Г. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОКОЛЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ.....	54
Андреев П.О., Ткаченко А.Л., Виноградская М.Ю., Федорова В.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ DEDUSTOR ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА.....	65
Сильнова С.В., Карамзина А.Г. ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ РАБОТ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.....	70

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ, УПРАВЛЕНИИ И БИЗНЕСЕ

Старцева Е.В., Муталлапов Р.Н. ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОБМЕНА ЮРИДИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫМИ ДОКУМЕНТАМИ С КОНТРАГЕНТАМИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА.....	76
Устинова Л.Е., Гончаренко АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ TELEGRAM-БОТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ БИЗНЕС-ЗАДАЧ.....	80
Мельников Р.Д., Фомичева О.Е. ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КОМПАНИИ ООО «ЮСБ-ЛОГИСТИКС» НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	86

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Корабошев О.З. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ....	91
Тулупова О.П., Гумерова К.Р., Ганиева В.Р., Круглов А.А., Еникеев Ф.У. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ ПОЛУСФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК....	96
Губарев В.В. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ БАЗЫ ЗНАНИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ.....	102
Лапин А.Н., Минасов Ш.М., Широкова А.А. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ.....	107

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

UDC 004.378.147

### RESEARCH OF PULSE SIGNALS OF DIFFERENT SHAPES IN MULTISIM

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ В MULTISIM

K.V. Kireev,  
FSBEI HE “Samara State Technical University”,  
Samara, Russian Federation

Киреев К.В.,  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,  
г. Самара, Российская Федерация

e-mail: m\_kir\_2001@mail.ru

**Abstract.** Devices of impulse technology differ significantly from analog devices in the type of signals used and in the methods of their processing. The analysis of such systems is carried out using models of signals and devices described by some mathematical functions. The construction of such models is possible both analytically and with the help of modern computer technologies. The best result is obtained by combining analytical and computer modeling. In this paper, the Multisim software package is proposed as a tool for modeling pulse signals of various shapes. As an example, modeling of a rectangular pulse of a certain amplitude and duration, as well as a periodic sequence of such pulses, is considered. The temporal form of the signal representation, as well as the spectral representation of the signal using the Fourier transform of the temporal form for and obtaining the frequency properties of the signal, are investigated. The effect of the number of considered harmonic components of the Fourier series on the accuracy of the original signal representation is clearly shown. The information obtained as a result of modeling in Multisim coincides with the theoretical calculation and allows you to judge each harmonic component of the signal. The results of the work can be used in the educational process in the study of mathematical and special electrical and radio engineering disciplines.

**Аннотация.** Устройства импульсной техники существенно отличаются от аналоговых устройств видом используемых сигналов и способами их обработки. Анализ таких систем проводится с помощью моделей сигналов и устройств, описываемых некоторыми математическими функциями. Построение таких моделей возможно как аналитически, так и с помощью современных компьютерных технологий. Наилучший результат получается при сочетании аналитического и компьютерного моделирования. В данной работе в качестве инструмента моделирования импульсных сигналов различной формы предложен программный пакет Multisim. В качестве примера рассмотрено моделирование прямоугольного импульса определенной амплитуды и длительности, а также периодической последовательности таких импульсов. Исследованы временная форма представления сигнала, а также спектральное

представление сигнала с помощью преобразования Фурье временной формы для и получения частотных свойств сигнала. Наглядно показано влияние количества учитываемых гармонических составляющих ряда Фурье на точность представления исходного сигнала. Полученная в результате моделирования в Multisim информация совпадает с теоретическим расчетом и позволяет судить о каждой гармонической составляющей сигнала. Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе при изучении математических и специальных электротехнических и радиотехнических дисциплин.

**Keywords:** transient, electric circuit, simulation, resonance, overvoltage, frequency.

**Ключевые слова:** моделирование, импульс, периодический сигнал, ряд Фурье, гармоника, частота, спектр.

When operating various electronic devices, it becomes necessary to use rectangular pulses or pulse signals of a different shape.

Impulses are called electrical oscillations with a relatively slow change in magnitude at some time intervals and fairly fast changes at others.

The most important characteristic of an impulse is its shape. There are pulses of rectangular, trapezoidal, sawtooth shape, etc. For example to describe a rectangular pulse, two parameters are used: amplitude  $U$  and duration  $t_i$ . Due to the impossibility of obtaining instantaneous changes in voltage and current, the shape of real pulses will differ from rectangular.

A periodic sequence of pulses is characterized by a repetition period  $T$  and a duty cycle  $q$  – the ratio of the period to the pulse duration:

$$q = \frac{T}{t_i}.$$

In addition to the temporal form of the signal representation, which makes it possible to determine its amplitude, power and duration, the spectral representation of the signal is used to study the frequency properties using the Fourier transform of the temporal form.

The essence of this representation is that any electrical signal  $u(t)$  on an arbitrarily given time interval of duration  $T$  can be written as a sum of simple harmonic oscillations (Fourier series):

$$u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(k\omega t + \varphi_k), \quad k = 1, 2, 3, \dots, \infty;$$

where  $U_0$  is a constant component that determines the signal offset relative to the abscissa axis;  $k$  is the order of the harmonic;  $U_{mk}$  is the amplitude of the  $k$ -th harmonic;  $\omega$  is the frequency of the fundamental (first) harmonic;  $\varphi_k$  is the initial phase of the  $k$ -th harmonic.

If we represent a given signal  $u(t)$  as a sum of an infinitely large number of harmonic functions with infinitely small amplitudes and infinitely close frequencies, then using the direct Fourier transform, we can determine its spectral composition:

$$U(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j\omega t} dt.$$

The structure of the signal spectrum is completely determined by the values of the amplitudes and phases of the harmonics. The spectral diagram of amplitudes has physical value  $U(\omega)$ , which, according to the Rayleigh-Parseval theorem, characterizes the distribution of signal energy between the components of its spectrum.

For a single rectangular pulse with amplitude  $U$  and duration  $t$  and the spectral density

$$U(j\omega) = \int_{-t_i/2}^{t_i/2} Ue^{-j\omega t} dt = \frac{2U}{\omega} \sin \frac{t_i}{2} \omega.$$

A non-periodic signal is characterized by a continuous spectrum, while a periodic signal is discrete. In this case, the discrete spectrum of a periodic signal fits into the graph of the spectral density of the amplitudes of the corresponding non-periodic signal as shown in Fig. 1 for a square wave pulse with a duty cycle  $q = 2$ .

This series is infinite, and there are no channels with infinite bandwidth of the spectrum, so it must be limited.

The objective of this study is to obtain the temporal and spectral characteristics of periodic pulse signals of various shapes, their expansion into a Fourier series.

Let us calculate the values of the amplitudes and frequencies of the harmonic components of a periodic signal of a rectangular shape, limiting ourselves to the first five harmonics of the Fourier series.

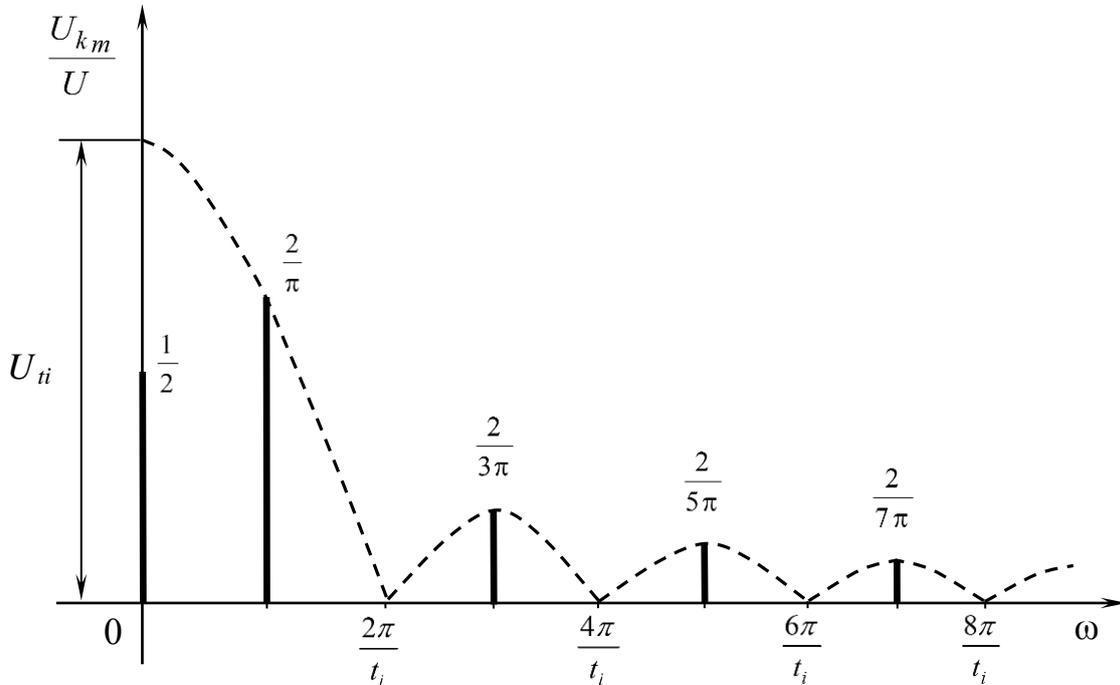


Figure 1. The discrete spectrum of a periodic signal

Let the pulse value  $U$  be 1V, the duration  $t_i = 0,5$  ms, the period  $T = 1$  ms, the duty cycle  $q = 2$ . The amplitude and frequency of the  $k$ -th harmonic in this case are found, respectively, by the formulas

$$U_{mk} = \frac{2UT}{\pi k}, \quad f_k = \frac{k}{T}.$$

The calculation results are summarized in the Table 1.

Table 1 – Amplitudes and frequencies of harmonics of the Fourier series

$k$	1	3	5	7	9
$U_{mk}, \text{V}$	0,6366	0,2122	0,1273	0,091	0,0708
$f_k, \text{Hz}$	$10^3$	$3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$

The constant component of the signal is equal to its average value over the period. For a periodic square wave

$$u(t) = \begin{cases} U & \text{при } 0 < t < T/2, \\ 0 & \text{при } T/2 < t < T \end{cases}.$$

We have

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U dt = \frac{U}{2} = 0,5 \text{ (V)}.$$

We will carry out virtual simulation in the Multisim program [1, 2].

For this we use the component: *Pulse Voltage Source*. This component is located on the *Signal Source Components* toolbar.

The component parameters are set on the *Value* tab of the window that opens by double-clicking on the component (Fig. 2).

To display the timing diagrams, we use the standard transient analysis *Transient Analysis*. The set parameters correspond to the duty cycle value

$$q = \frac{T}{t_i} = \frac{1}{0,5} = 2.$$

The resulting timing diagram is shown in fig. 3.

It follows from the timing diagram that the magnitude of the pulses is 1V, the duration is 0.5 ms, the period is 1 ms, the duty cycle is 2.

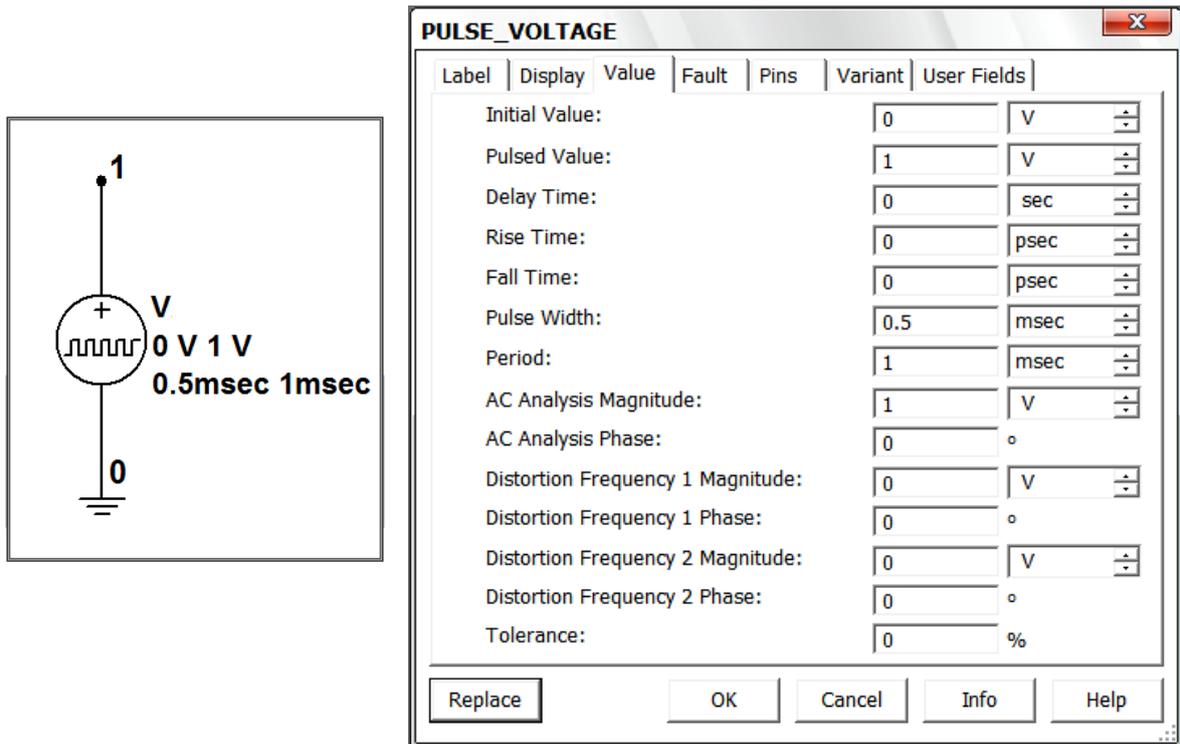
Figure 2. Setting component *Pulse Voltage* options

Figure 3. The timing diagram

To obtain the spectral density of the signal amplitudes, we use *Fourier Analysis*, which allows us to determine which components of the Fourier series form the signal (Fig. 4).

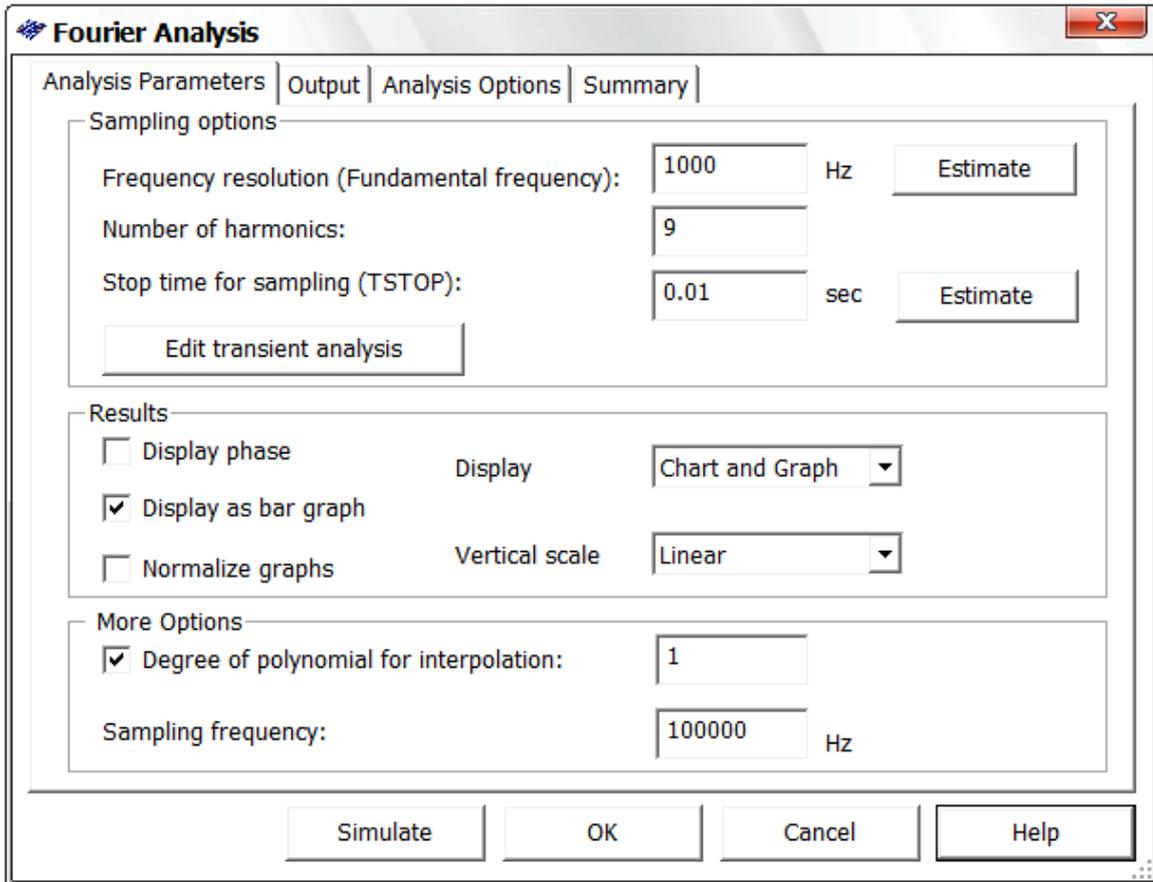


Figure 4. Setting component *Fourier Analysis* options

The obtained results of the Fourier analysis are displayed in the form of text, as well as on the graph (Fig. 5).

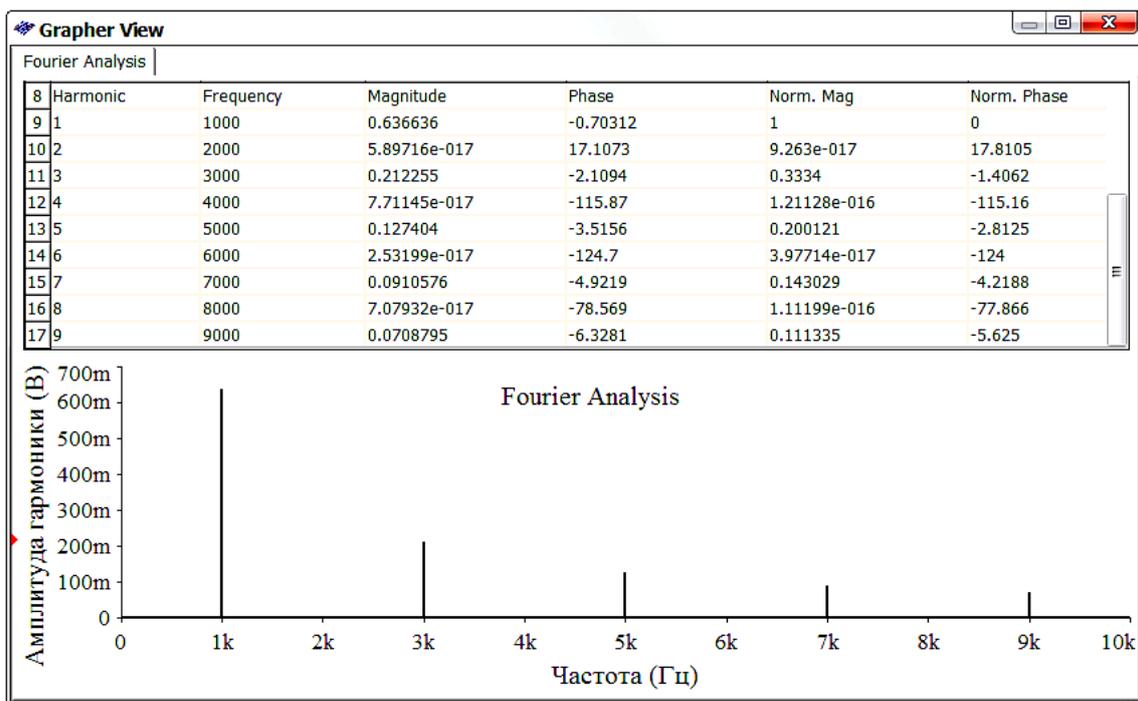


Figure 5. The obtained results of the Fourier analysis

From the graph showing the spectrum of the amplitudes of the harmonic components of the signal, it follows that a periodic rectangular signal contains the first, third, fifth, seventh, ninth, etc. harmonics of the Fourier series.

The text part provides more detailed information, in it you can see information about each harmonic component of the signal: amplitude, phase in absolute values, as well as relative to the fundamental (first) harmonic.

The data obtained using the simulation in Multisim is consistent with the theoretical calculation.

To determine the constant component of the signal, we use an oscilloscope. We apply the signal under study to channel A of the oscilloscope by pressing the AC button for this channel on the instrument panel. With this connection, the constant component is subtracted from the signal and only its variable component is displayed on the screen.

The DC component of the signal is calculated in Multisim for the first three cycles, so on the oscilloscope screen you can simultaneously observe the waveform with and without a DC component. Comparison of these pulses will determine the value of the constant component.

The resulting oscillogram is shown in fig. 6. DC signal  $U_0 = 0,5$  V.

The considered periodic signal of a rectangular shape in the form of a Fourier series:

$$u(t) = 0,5 + 0,6366\sin(2\pi \cdot 1000t - 0,7^\circ) + 0,2122\sin(2\pi \cdot 3000t - 2,1^\circ) + 0,1274\sin(2\pi \cdot 5000t - 3,5^\circ) + 0,091\sin(2\pi \cdot 7000t - 4,9^\circ) + \dots \text{ V.}$$

The expansion of a non-sinusoidal voltage into a Fourier series, in fact, means replacing one non-sinusoidal source with several series-connected sinusoidal sources of different frequencies, and the presence of a constant component is taken into account by a constant voltage source.

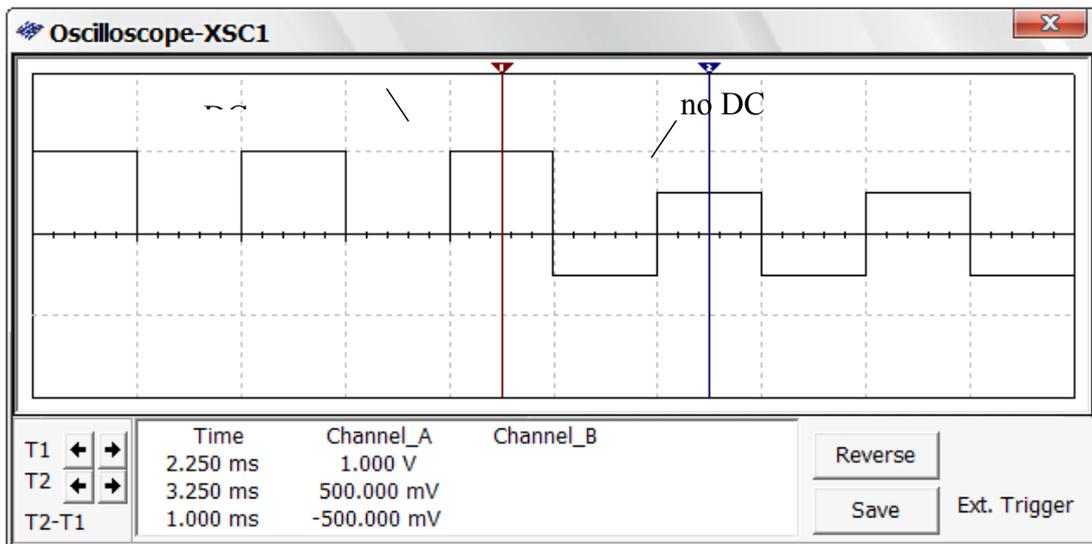


Figure 6. The resulting oscillogram

In order to check how accurately the obtained terms of the Fourier series represent the original signal, we use the circuit shown in Fig. 7.

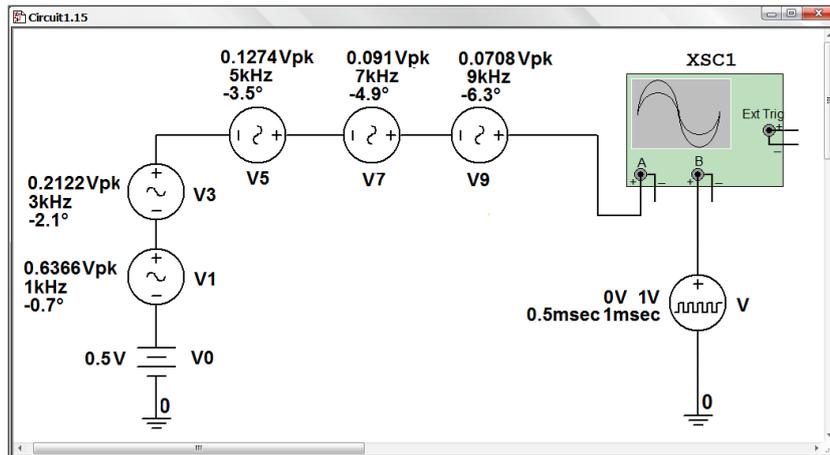


Figure 7. Virtual circuit in Multisim

The simulation results are shown in Fig. 8. To achieve greater accuracy, it is necessary to increase the number of harmonic components of the series taken into account (the *Number of harmonics* parameter in the settings of the *Fourier Analysis* function).

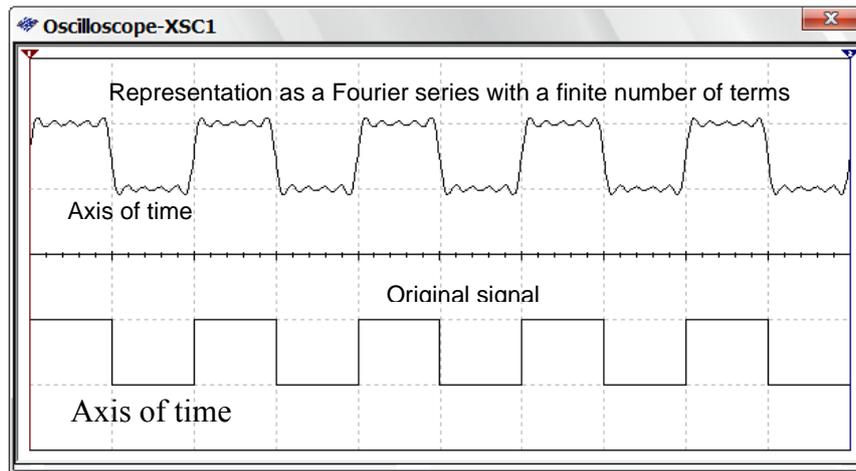


Figure 8. The simulation results

## Findings

Modeling in the Multisim program made it possible to study periodic pulse signals of various shapes, conduct spectral and temporal analysis of such signals based on the properties of the Fourier transform. In this case, we come to the traditional display of the spectrum of a periodic signal in the form of a set of amplitudes and phases of the corresponding harmonics.

## References

1. Kireev K.V. Information and Communication Technologies in Modern Electrotechnical Education//Information Technology. Problems and Solutions. Ufa, USPTU, 2019. 1(6). P. 34-39.
2. Киреев К.В. Теоретическая электротехника: виртуальная лаборатория в Multisim 11/К.В. Киреев. – М.: Машиностроение, 2012. – 293 с.

УДК 004.942

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ  
НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ  
С ГАРМОНИЧЕСКИМ АНАЛИЗОМ В СРЕДЕ BORLAND DELPHI**

**SIMULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE  
OF A DIRECT FREQUENCY CONVERTER  
WITH HARMONIC ANALYSIS IN THE BORLAND DELPHI ENVIRONMENT**

Федоров С.В., Вагапов Р.Р.,  
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет» в г. Кумертау,  
г. Кумертау, Российская Федерация

S.V. Fedorov, R.R. Vagapov,  
Branch of the Federal State budgetary educational institution  
of Higher Education  
“Ufa State Aviation Technical University” in Kumertau,  
Kumertau, Russian Federation

e-mail: proinfosystem@gmail.com

**Аннотация.** Разработка новых устройств требует исследования их свойств и режимов работы. Развитие информационных технологий позволяет анализировать работу устройств на основе имитационных моделей, прежде чем реализовать их. В данной статье рассматривается вопрос применения информационной системы Borland Delphi при проектировании и исследовании преобразователей частоты. Одной из задач при разработке преобразователей частоты для управления электроприводом является обеспечение качества выходного напряжения. Данный показатель характеризуется коэффициентом гармоник и нормируется ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Была разработана программа для гармонического анализа выходного напряжения трехфазно-однофазного непосредственного преобразователя частоты с идеальными ключами. При построении кривой выходного напряжения для гармонического анализа была использована треугольная и синусоидальная модуляция. Эту программу могут использовать инженеры, занимающиеся изучением преобразователей частоты. По заданной частоте выходного напряжения непосредственного преобразователя частоты программа позволяет определить его гармонический состав и коэффициент гармоник. Так же программа строит график выходного напряжения и его гармонических составляющих. На основании результатов, полученных с помощью данной программы, были сформулированы условия соблюдения требований качества выходного напряжения по требованию ГОСТ 32144-2013.

**Abstract.** The development of new devices requires the study of their properties and modes of operation. The development of information technology makes it possible to analyze the operation of devices based on simulation models before implementing them. This article discusses the use of the Borland Delphi information system in the design and research of frequency converters. One of the tasks in the development of frequency converters for electric

drive control is to ensure the quality of the output voltage. This indicator is characterized by a harmonic coefficient and is normalized by GOST 32144-2013 “Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems”. A program has been developed for harmonic analysis of the output voltage of a three-phase-single-phase direct frequency converter with ideal switches. When constructing the output voltage curve for harmonic analysis, triangular and sinusoidal modulation was used. This program can be used by engineers studying frequency converters. According to the specified frequency of the output voltage of the direct frequency converter, the program allows you to determine its harmonic composition and harmonic coefficient. The program also plots the output voltage and its harmonic components. Based on the results obtained with the help of this program, the conditions for compliance with the quality requirements of the output voltage as required by GOST 32144-2013 were formulated.

**Ключевые слова:** моделирование, Borland Delphi, преобразователь частоты, имитационная модель, коэффициент гармоник.

**Keywords:** simulation, Borland Delphi, frequency converter, simulation model, harmonic coefficient.

Одной из задач при разработке преобразователей частоты для управления электроприводом является обеспечение качества выходного напряжения. Данный показатель характеризуется коэффициентом гармоник и нормируется ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». По данному ГОСТу значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$ , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны быть выше значений, содержащихся в таблице 1, в течение 100 % временного интервала в одну неделю [1].

Таблица 1 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения  $K_U$

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_U$ , %			
Напряжение электрической сети, кВ			
0,38	6—25	35	110—220
12, 0	8,0	6,0	3,0

Все многообразие преобразователей частоты делится на два класса – это частотные преобразователи со звеном постоянного тока и непосредственные частотные преобразователи (НПЧ) [2]. Несмотря на различия, все они должны удовлетворять пункту 4.2.4 условия ГОСТа.

Таким образом, целью данного исследования является оценка качества выходного напряжения частотных преобразователей и на основании этого формулировка рекомендаций по соблюдению требований пункту 4.2.4 условия ГОСТ 32144-2013.

В качестве исследуемого объекта был выбран непосредственный преобразователь частоты. Схема непосредственного преобразователя частоты с системой управления приведена на рисунке 1.

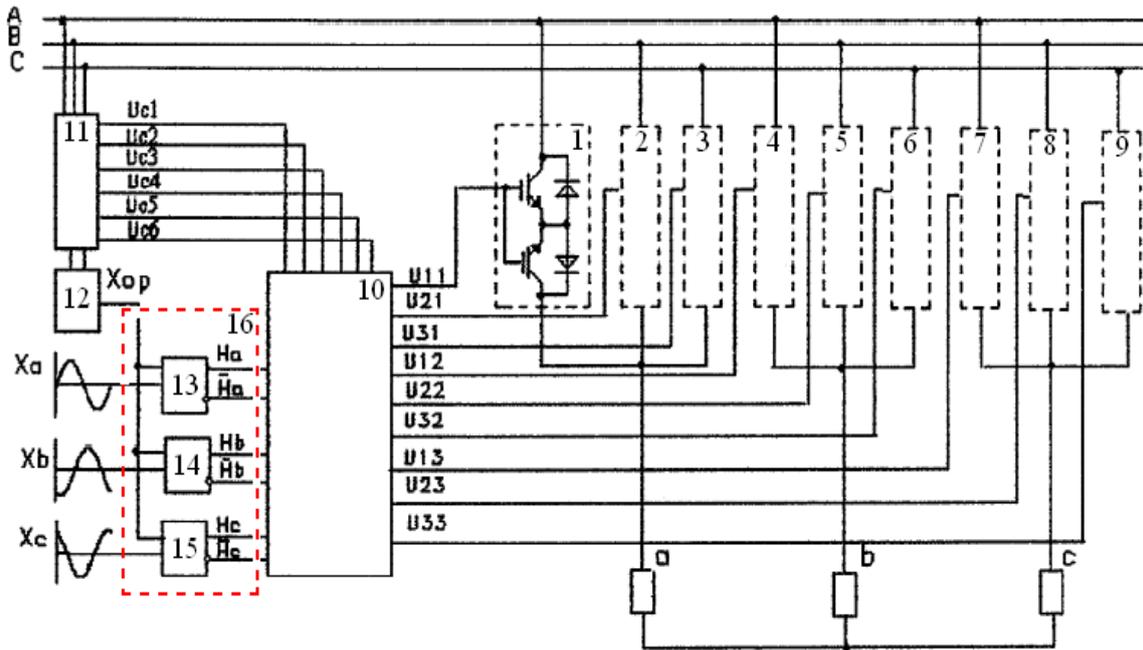


Рисунок 1. Схема непосредственного преобразователя частоты с системой управления:  
 1-9 – транзисторные ключи; 10 – распределитель управляющих импульсов;  
 11 – устройство синхронизации; 12 – формирователь опорного сигнала;  
 16 – устройство формирования переключающих функций,  
 состоящее из трех каналов 13, 14, 15

Данный НПЧ работает по принципу прямого преобразования частоты. Суть его состоит в том, что выходное напряжение ПЧ формируется путем циклического подключения нагрузки последовательно к каждой фазе источника питания.

Построение кривых выходного напряжения выполняется системой ветвей со статическими ключами двухстороннего действия – составными элементами НПЧ, которые обеспечивают матрицу чередующихся соединений между выводами на входе и на выходе. С помощью полностью управляемых двухпроводных ключей нагрузка подключается по определённому алгоритму к фазам источника на равные или различные отрезки времени. При этом, если чередование фаз происходит от фазы *A* к фазе *C*, т.е. *A, B, C, A, B, ...*, то такая последовательность называется прямой или обратной, если чередование фаз *A, C, B, A, C, ...*. Т.е. выходное напряжение НПЧ образуется из «вырезанных» элементов синусоид входного многофазного напряжения (рисунок 2). В итоге выходное напряжение НПЧ имеет «пилообразную» форму, отличную от синусоидальной, и которую условно можно аппроксимировать синусоидой.

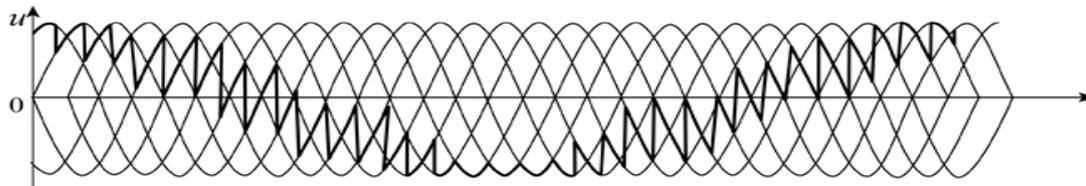


Рисунок 2. Выходное напряжение НПЧ при сетевой частоте 50 Гц и частоте выходного напряжения 10 Гц

Формирование такого выходного напряжения на основе прямого преобразования осуществляется с помощью схемы, представленной на рисунке 3. Эта система состоит

из трех (для трехфазного входного напряжения) идентичных каналов, по одному на каждую переключающую функцию [2].

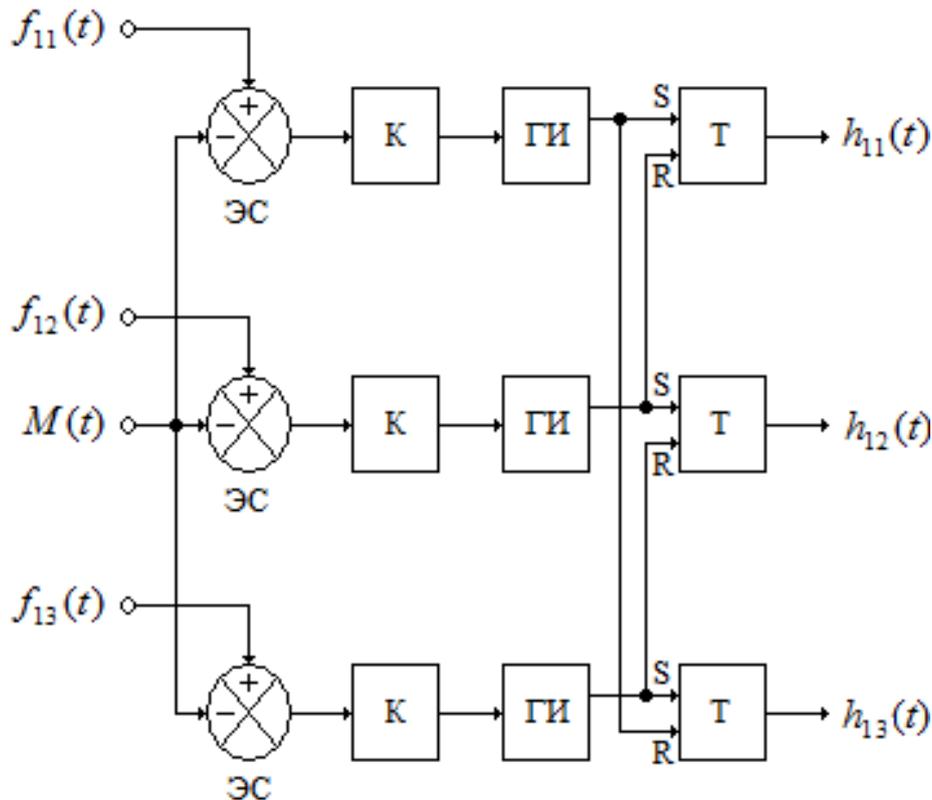


Рисунок 3. Схема устройства формирования переключающих функций системы управления матричным преобразователем частоты

Для решения поставленной цели была построена математическая модель выходного напряжения НПЧ. На основании преобразования Фурье были выведены математические соотношения для вычисления коэффициента гармоник выходного напряжения. Более подробно данная процедура описана в работе [3, 4].

В качестве средства моделирования была выбрана среда Borland Delphi 7. Была разработана программа моделирования и гармонического анализа выходного напряжения НПЧ [3].

Данная программа предназначена для гармонического анализа выходного напряжения трехфазно-однофазного непосредственного преобразователя частоты с идеальными ключами.

При построении кривой выходного напряжения для гармонического анализа была использована треугольная и синусоидальная модуляция.

Эту программу могут использовать инженеры, занимающиеся изучением частотных преобразователей.

По заданной частоте выходного напряжения непосредственного преобразователя частоты программа позволяет определить его гармонический состав и коэффициент гармоник.

Так же программа строит график выходного напряжения и его гармонических составляющих.

Интерфейс программы приведен на рисунке 4.

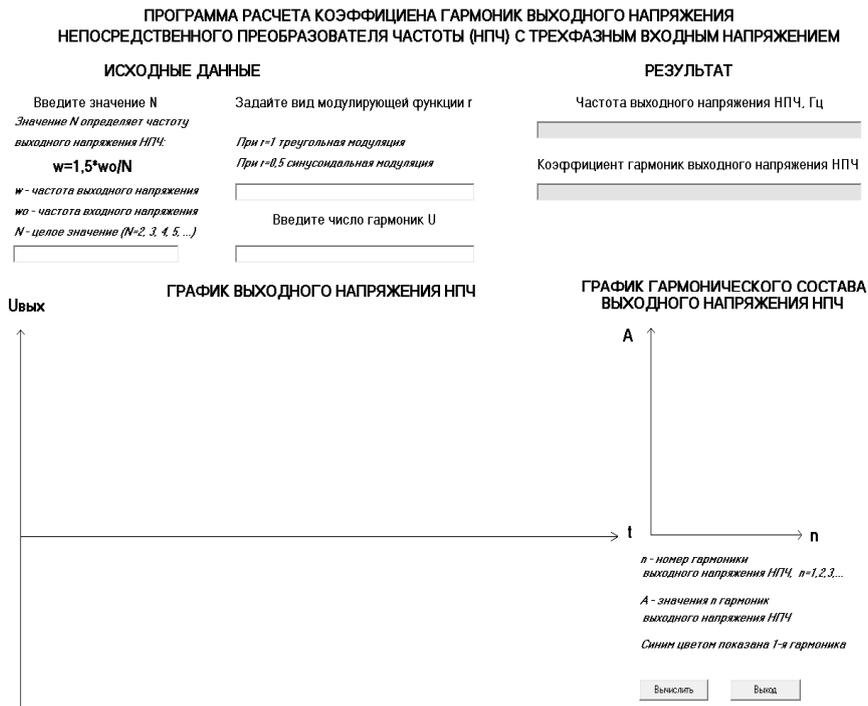


Рисунок 4. Интерфейс программы моделирования и анализа выходного напряжения в среде Borland Delphi 7

Результат моделирования и гармонического анализа выходного напряжения НПЧ для синусоидальной модуляции представлен на рисунке 5.

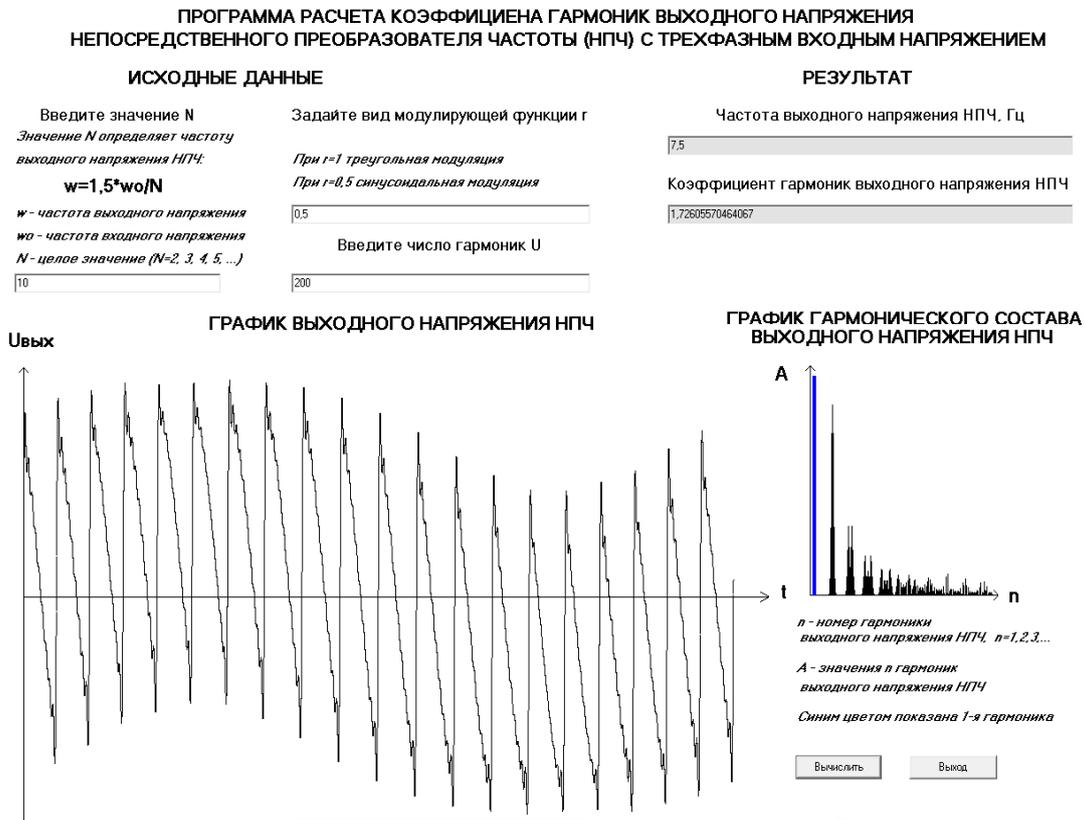


Рисунок 5. Результат моделирования и гармонического анализа выходного напряжения НПЧ для синусоидальной модуляции

Результат моделирования и гармонического анализа выходного напряжения НПЧ для треугольной модуляции представлен на рисунке 6.

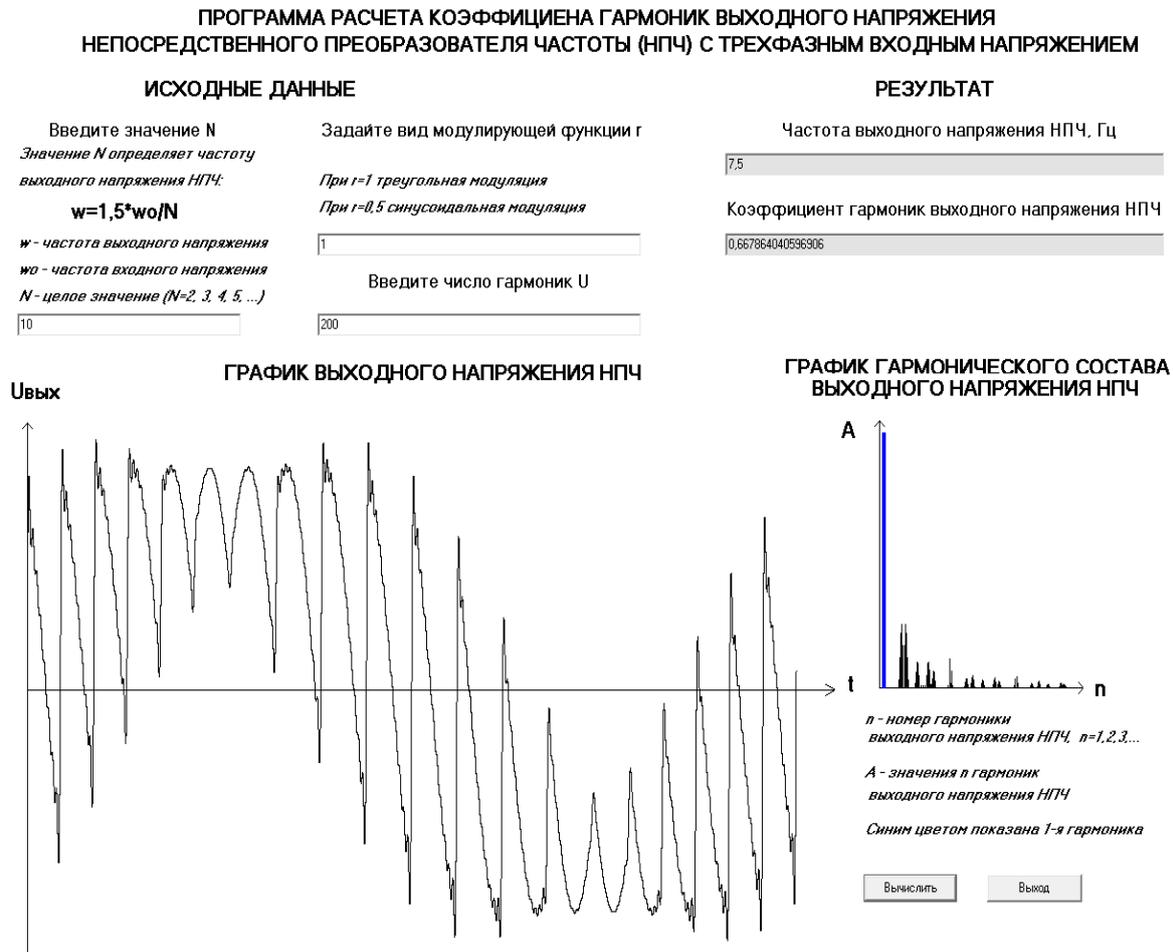


Рисунок 6. Результат моделирования и гармонического анализа выходного напряжения НПЧ для треугольной модуляции

Ниже представлен код процедуры, ответственной за моделирование и гармонический анализ выходного напряжения:

```

procedure
TForm1.Button1Click(Sender:
TObject);
begin
N:=StrToInt(edit1.Text);
U:=StrToInt(edit2.Text);
r:=StrToFloat(edit3.Text);
pi:=3.142;
w0:=100*pi;
w:=6*pi/(0.04*N);
v:=3/(0.04*N);
f[1]:=2*pi/3;
f[2]:=0*pi/3;
f[3]:=4*pi/3;
for k:=1 to U do
begin
z:=0;
b[k]:=0;
for j:=0 to N-1 do
begin
z:=z+1;
if z>3 then z:=1;
b[k]:=b[k]+0.5*(sin((100*pi-
k*w)*time[j+1]+f[z])*(1/(100*pi-k*w))-
sin((100*pi+k*w)*time[j+1]+f[z])*(1/(100*pi+k*w)))-
0.5*(sin((100*pi-k*w)*time[j]+f[z])*(1/(100*pi-
k*w))-
sin((100*pi+k*w)*time[j]+f[z])*(1/(100*pi+k*w))));
end;
end;
end;

```

```

e:=0.005;
time[0]:=0;
d:=-0.006667;
for k:=1 to 2*N do
begin
d:=d+0.006667;
if k=N+1 then d:=d+0.006667;
time[k]:=0;
for j:=0 to 6667 do
begin
i:=j*0.000001;
if abs(ArcSin(r*sin(w*(d+i)))-
2*k*pi/3+100*pi*(d+i))<=e then
time[k]:=d+i;
end;
end;
end;
end;
b[k]:=b[k]*12/(0.04*N);
end;
Q:=0;
for k:=2 to U do
Q:=Q+sqr(b[k]);
Kg:=sqrt(Q)/b[1];
edit4.Text:=floattostr(v);
edit5.Text:=floattostr(Kg);
end;

```

### Выводы

Таким образом, программа позволяет исследовать качество выходного напряжения НПЧ при различных алгоритмах управления и в широком диапазоне частот. На основании результатов, полученных с помощью данной программы, были сформулированы условия соблюдения требований качества выходного напряжения по требованию ГОСТ 32144-2013. Данные условия приведены в работе [5]. Данную программу можно использовать для обучающихся высших учебных заведений, а также для инженеров, занимающихся изучением преобразователей частоты.

### Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. Джюджи Л., Пели Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение / пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
3. Федоров, С.В., Бондарев, А.В. Спектральный анализ выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты, получаемого с помощью метода прямого преобразования. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014660465 от 08.10.2014 г.
4. Федоров С.В., Бондарев А.В., Яппаров Ф.К. Анализ гармонического состава выходного напряжения непосредственных преобразователей частоты. Практическая силовая электроника. /Изд-во ЗАО «ММП-Ирбис», № 52(4), 2013 г.
5. Федоров С.В. Устройство формирования переключающих функций управляющего блока матричного преобразователя частоты для системы частотного управления электроприводом: диссертация кандидата технических наук: 05.13.05/Федоров Сергей Витальевич; [Место защиты: Уфим. гос. авиац.-техн. ун-т]. – Уфа, 2015. – 171 с.: ил.

УДК 004.942

**ИНСТРУМЕНТАРИЙ ФРЕЙМВОРКА PROM  
ДЛЯ БЫСТРОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ ПРОЦЕССА****PROM FRAMEWORK TOOLS  
FOR QUICK PROCESS STRUCTURE ANALYSIS**

Абросимова М.А.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия

M.A. Abrosimova,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia

e-mail: m.abrosimova@gmail.com

**Аннотация.** Системы процессной аналитики позволяют на основе журналов событий, сформированных в информационных системах, создавать, анализировать и улучшать модели бизнес-процессов. Успешное внедрение технологий Process Mining возможно при определенном уровне зрелости бизнес-процессов и понимании ценности процессной аналитики. Специфичность знаний в области Process Mining и их постоянная обновляемость, в том числе и за счет новых интеллектуальных технологий, требует этапности вовлечения сотрудников в процессный анализ. В статье приводится описание инструментов быстрого анализа структуры процесса на примере фреймворка ProM, позволяющих составить представление о сути процесса, что важно с практической точки зрения, особенно при больших журналах событий. Показаны способы просмотра и дана интерпретация параметров журнала. Описаны возможности отображения модели процесса и управления ее параметрами с использованием фильтров значимости задач и фильтров значимости ребер графа, а также оценки динамики выполнения процесса на основе анимации графа. В качестве алгоритма извлечения процесса использован Fuzzy Miner – один из самых молодых и широко используемых в процессной аналитике. Исследование проведено на примере журнала событий, размещенного в открытом доступе на веб-хостинге IT-проектов GitHub.

**Abstract.** Process analytics systems allow, based on event logs generated in information systems, to create, analyze and improve business process models. Successful implementation of Process Mining technologies is possible with a certain level of maturity of business processes and an understanding of the value of process analytics. The specificity of knowledge in the field of Process Mining and its constant updating, including due to new intelligent technologies, requires the involvement of employees in process analysis in stages. The article provides a description of the tools for quick analysis of the process structure using the ProM framework as an example, allowing to get an idea of the essence of the process, which is important from a practical point of view, especially with large event logs. Viewing methods are shown and interpretation of log parameters is given. The possibilities of displaying the process model and controlling its parameters using task significance filters and graph edge significance filters, as well as evaluating the process execution dynamics based on graph animation, are described. Fuzzy Miner, one of the youngest and widely used in process analytics, was used as a process

extraction algorithm. The study was conducted on the example of an event log hosted in the public domain on the web hosting of IT projects GitHub.

**Ключевые слова:** Process Mining, ProM, журнал событий, классы событий, Fuzzy Miner.

**Keywords:** Process Mining, ProM, Event Log, Event Classes, Fuzzy Miner.

Технологии Process Mining, позволяющие строить улучшенные модели процессов на основе цифровых следов реальных процессов, внедряются второе десятилетие. Аналитики отмечают ключевую роль Process Mining в цифровой трансформации бизнеса, динамика внедрений имеет устойчивую тенденцию к росту [1]. Наиболее активно проекты Process Mining реализуются в страховых, телекоммуникационных, логистических, медицинских, финансово-кредитных организациях, деятельность которых в массовом порядке основана на взаимоотношениях с клиентами. Постепенно технологии процессной аналитики проникают в промышленный сектор, органы государственной власти, торговлю. Успешное внедрение инструментов Process Mining возможно при достаточной зрелости бизнес-процессов и понимании ценности процессной аналитики. Согласно исследований PwC и АВВУ 2021 г. на российских предприятиях для оптимизации бизнес-процессов большинство аналитиков используют системы Business Intelligence, не понимая разницы между Process Mining и BI-решениями [2]. Методы и средства процессной аналитики отличаются многообразием, сложностью восприятия и интерпретации, а также постоянным расширением за счет включения в практическое использование новых элементов интеллектуальных технологий. В освоении технологий Process Mining, особенно в производственных условиях, важна, во-первых, эволюционность, во-вторых, этапность анализа процесса, позволяющая получить сначала общую картину, а затем перейти к более глубокому изучению с привлечением специальных методик. Целью настоящего исследования является описание инструментов Process Mining для быстрого анализа структуры процесса на примере фреймворка ProM (TU/e), позволяющего получить первоначальное понимание сути процесса.

Информационной базой процессного анализа является журнал событий (лог), формируемый информационной системой по результатам бизнес-операций. События сгруппированы в кейсы и имеют свои атрибуты, в минимальном варианте – название и дата\_время исполнения. Из журнала событий извлекаются процессы (Data Discovery), для представления которых, чаще всего, используются сети Петри. Структура процесса представляет собой множество задач, соединенных переходами, образующими конструкции: базовые (последовательное выполнение, параллельное выполнение и выбор) и специальные (циклы, конструкции с несвободным выбором, невидимые задачи и повторяющиеся задачи). Последовательности задач образуют трассы (потoki), соответствующие кейсам. Для извлечения процессов используют различные алгоритмы, например, альфа-алгоритмы, нечеткие, эвристические, индуктивные и пр. [3]. Каждый алгоритм, как правило, хорошо обрабатывает базовые конструкции процесса и с разным успехом специальные. Журналы событий часто содержат шумы - нерелевантные или бессмысленные данные, являющиеся следствием, например, ошибок ввода данных, технических и системных сбоев и пр. Другая проблема журналов – неполные данные – пропущенные события, что бывает, например, если часть событий произошла, но не зарегистрирована в информационной системе, например, выполнена вручную. Дефекты журналов также по-разному поддаются обработке конкретным алгоритмом извлечения процессов. В данном исследовании, исходя из цели быстрого анализа структуры

процесса, применен нечеткий алгоритм – Fuzzy Miner. Алгоритм работает в условиях шумов и неполных данных, хорошо обрабатывает большие журналы. Fuzzy Miner основан на определении значимости отдельных классов событий и корреляций между ними, он визуализирует процесс, упрощая модель путем удаления малозначимых ребер, объединения узлов с высокой степенью корреляции в один узел и удаления кластеров изолированных узлов [4].

Fuzzy Miner является одним из самых молодых и перспективных алгоритмов и доступен для использования во многих системах Process Mining. Достоинством фреймворка ProM является его способность реализовывать большое количество алгоритмов извлечения процессов и моделирования, строить визуализации, в т.ч. интерактивные, и наличие бесплатных версий. ProM разработан группой исследователей под руководством ван дер Аальста, одного из авторов Манифеста Process Mining и часто применяется, наряду с коммерческими, в исследовательских целях. Для анализа структура процесса требуется загрузить в систему журнал событий, определить количественные и качественные характеристики журнала и извлеченной из него модели.

Журналы событий, обрабатываемые алгоритмами извлечения процессов, в ProM должны быть представлены в XES-формате – стандартом в Process Mining. XES – eXtensible Event Stream основан на XML и определяет структуру «событие» - «трасса» – «лог». Однако множество данных о процессах, в т.ч. и находящихся в открытом доступе, представлено в более традиционных форматах, например, CSV и XLSX. В ProM реализован удобный (без дополнительных средств) импорт таких данных. В качестве примера в исследовании взят журнал о медицинских клинических услугах с веб-хостинга IT-проектов GitHub [5]. В журнале хранится 1199 записей, сделанных за 24 смены, с указанием активности (процедуры) и даты и времени (рисунок 1).

```

1  смена, активность, дата_время
2  0,Считыватель КПК D5.05 (вх в 1А),2016-06-07 10:45:33
3  0,Считыватель КПК D2.13 (вх в БУ),2016-06-07 11:24:11
4  0,Считыватель КПК D2.13 (выход в стационар),2016-06-07 11:28:08
5  0,Считыватель КПК D5.05 (вх в 1А),2016-06-07 12:05:22
6  0,Считыватель КПК D7.06,2016-06-07 12:07:59
7  0,Считыватель КПК D5.05 (вх в 1А),2016-06-07 12:30:02
8  0,Считыватель КПК D5.05 (вх в стационар),2016-06-07 12:31:50
9  0,Ввод_назначений,2016-06-07 13:59:00
10 0,Ввод_назначений Отделение_госпитализации,2016-06-07 14:21:00

```

Рисунок 1. Фрагмент журнала событий в CSV-формате

При импорте журнала в ProM необходимо определить, какое поле CSV-документа должно отображаться в будущей модели процесса как номер кейса (трассы/потока), а какие как события (атрибуты события). В исследовании «смена» отображается как номер кейса «ID», «активность» и «дата\_время» как «Процедура» и «Дата и время». Конвертированный в XES журнал событий можно проанализировать и получить первичное представление о процессе: в окне XES Event Log по результатам импорта файла становятся доступны три инструмента: Dashboard, Summary и Inspector. На панели Dashboard приводятся статистические показатели журнала (рисунок 2).

Например, показано, что загружено: кейсов – 26; событий – 1199, классов событий (разных событий) – 920. Сверху приводится диаграмма и данные, характеризующие кейсы по количеству событий: в среднем по 46 событий на кейс, при этом максимальное количество событий в кейсе – 208, минимальное – 4. Снизу – диаграмма и данные, характеризующие кейсы по количеству классов событий: в среднем в одном кейсе 35

классов, при этом максимальное количество разных событий в кейсе составляет 160, минимальное – 4.

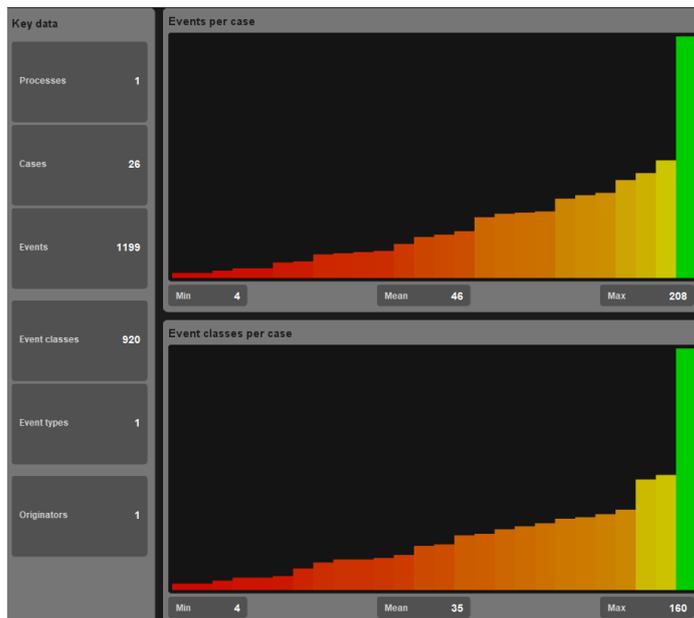


Рисунок 2. Статистические показатели журнала событий

Список всех классов событий приводится в сводке журнала на панели Summary (рисунок 3).

Log Summary			
Total number of process instances: <b>26</b>			
Total number of events: <b>1199</b>			
Event Name			
Event classes defined by Event Name			
All events			
Total number of classes: <b>920</b>			
Class	Occurrences (absolute)	Occurrences (relative)	
"Протромбиновый_индекс_МНО" 16.06.2016 7:16	6	0,5%	
ПЦ_экспр.лаб._Выявление_антиэритроцитарных_антител_непрямая_проба_Кумбса 05.08.2016 14:35	5	0,41	
ПЦ_экспр.лаб._Группа_крови_и_резус-фактор 05.08.2016 14:35	5	0,41	
Определение_уровня_калия_в_крови 17.08.2016 7:36	5	0,41	

Рисунок 3. Список и доля (вхождение) классов событий в процесс

Например, доля – Occurrences (relatives) – события «ПЦ\_экспр. лаб.\_Группа\_крови\_и\_резус-фактор|05.08.2016 14:35» составляет 0,41%. А всего – Occurrences (absolute) – таких событий в процессе – 5. Очевидно, процедуры выполнялись одновременно в 14:35 по отношению к 5 разным пациентам. На панели Inspector на вкладке Browser приводится список событий, входящих в тот или иной кейс (рисунок 4).

Например, в кейс 14 входит 90 событий, приводится их список. На вкладке Explorer той же панели можно визуально оценить размер кейса и частоту (повторяемость) конкретного события (в %) (рисунок 5).

Например, для события «ПЦ\_экспр.лаб.\_Группа\_крови\_и\_резус-фактор|05.08.2016 14:35» частота составляет 83,33%, т.е. выполняется 5 раз одна и та же

процедура. Для выделения событий с разной частотой встречаемости используется и цвет, при высокой частоте – зеленый.

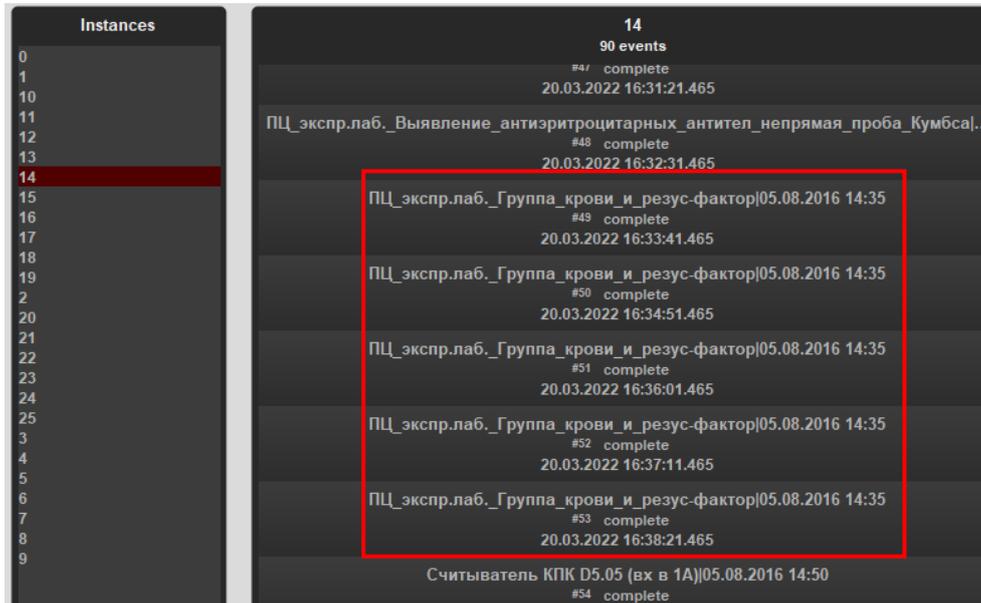


Рисунок 4. Список событий кейсов

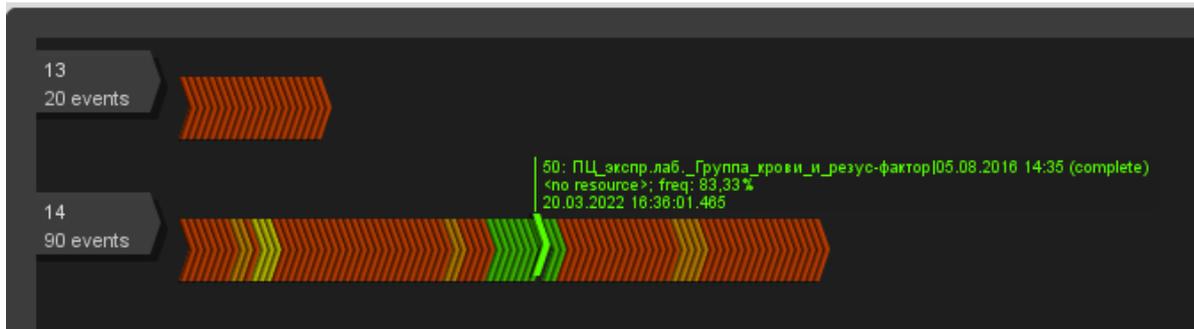


Рисунок 5. Частота (повторяемость) событий и размер потока

Извлечение процесса из исследуемого журнала событий при помощи Fuzzy Miner позволяет просмотреть все потоки процесса.

Например, для кейса (потока) 14 ProM построил последовательность выполняемых разных задач и повторяющиеся задачи «ПЦ\_экспр.лаб. Выявление\_антиэритроцитарных\_антител\_непрямая\_проба\_Кумбса| 05.08.2016 14:35:00» и «ПЦ\_экспр.лаб.\_Группа\_крови\_и\_резус-фактор|05.08.2016 14:35» (рисунок 6а).

На панели установки фильтров можно задать фильтр на отображение ребер графа – Edge filter. При значении edge filter = 1 отображаются все ребра; их цвет и толщина говорят о частоте их встречаемости (рисунок 6б). Включение всех ребер в граф позволяет увидеть все потенциально возможные последовательности задач.

Для понимания структуры процесса можно применить кластеризацию в интерактивном режиме, позволяющую увидеть процесс с той или иной степенью детализации. В кластер объединяются неповторяющиеся события. Для задания уровня детализации процесса используется правая панель инструментов Node Filter, позволяющая установить порог значимости – significance cutoff (рисунок 6в).

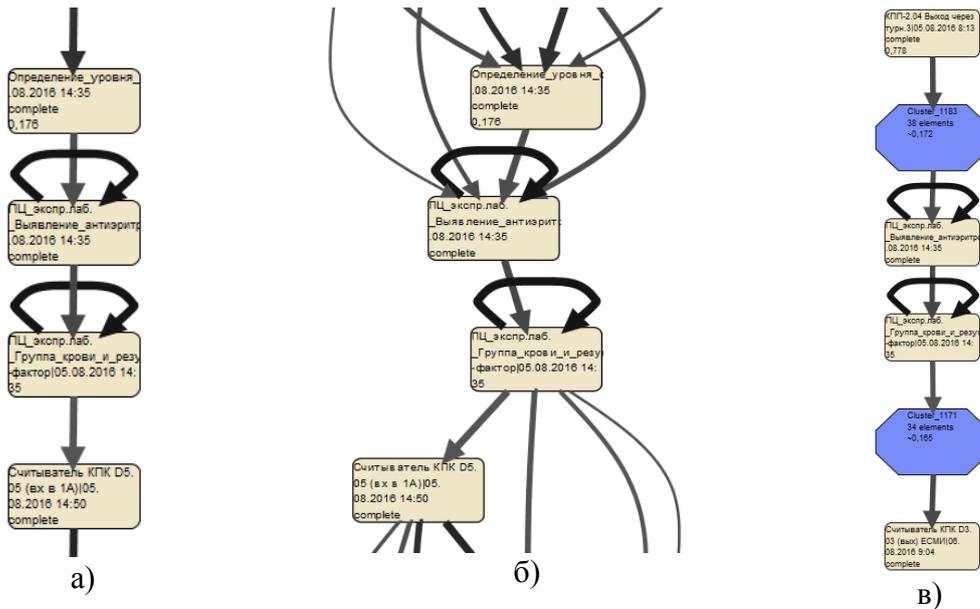


Рисунок 6. Фрагмент графа процесса при использовании Fuzzy Miner: а) без фильтрации ребер; б) со всеми ребрами; в) после кластеризации

Например, при кластеризации с порогом значимости 0,5 модель процесса для кейса 14, включающего 90 событий свернулась в схему из 6 элементов с двумя кластерами, объединивших неповторяющиеся события. Изменение порога значимости в большую или меньшую сторону приведет с еще более свернутой схеме или, наоборот, более развернутой. Полученный граф можно анимировать, выполнив экспорт модели и применив его к журналу событий. ProM визуализирует движение маркера по трассам процесса (рисунок 7).

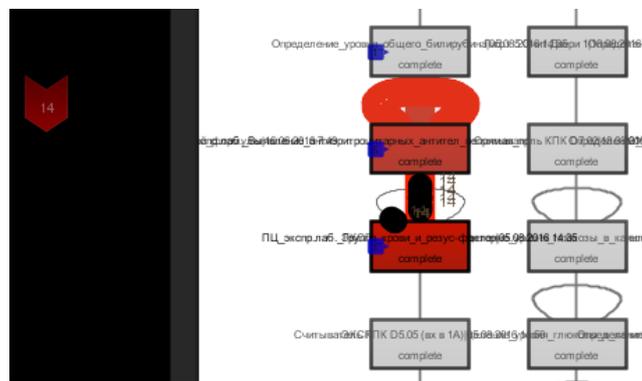


Рисунок 7. Анимация графа процесса

Анимация графа позволяет оценить насколько быстро выполняются те или иные задачи в трассе, какой объем задач в % выполнен по отношению ко всему процессу в заданный момент времени.

Таким образом, фреймворк ProM обладает развитыми инструментами быстрого анализа структуры процесса. Анализ журнала на панели Dashboard позволяет увидеть статистические показатели, на панели Summary – список и доли классов событий, на панели Inspector – списки и частоту встречаемости событий в кейсе и размеры кейса. Применение Fuzzy Miner для извлечения процессов позволяет строить граф процесса и управлять его детализацией, используя кластеризацию (Node Filter). Можно также управлять отображением связывающих задачи ребер (Edge filter), оценить их значимость

и увидеть потенциально возможные трассы. Анимация графа позволяет оценить динамику выполнения процесса в целом и отдельных задач в частности.

### **Выводы**

При использовании фреймворка ProM оценка количественных и качественных параметров журнала событий и модели процесса, кластеризация графа процесса с варьированием порога значимости, управление отображением ребер, а также анимация графа обеспечивают быстрый анализ структуры процесса и получение первоначального понимания его сути, что важно на практике, особенно при больших журналах.

### **Литература**

1. А. Гончаров. Состояние и перспективы Process Mining в России. <https://www.iksmmedia.ru/articles/5613482-Sostoyanie-i-perspektivy-Process.html>
2. Process Mining в России. Исследование PwC и АБВУУ. 9 декабря 2021. <https://www.pwc.ru/ru/events/2021/pwc-abbyu/process-mining-presentation.pdf>
3. Барсегян, А. А. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А. А. Барсегян, С. И. Елизаров, М. Д. Тесс, И. И. Холод, М. С. Куприянов. – СПб.: ВХВ, 2018.
4. D. Breuker, M. Matzner, P. Delfmann, J. Becker. Comprehensible Predictive Models For Business Processes. MIS Quarterly Vol. 40 No. 4, pp. 1009-1034/December 2016. <https://d-nb.info/1236402944/34>
5. Веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки [https://github.com/Siella/ProFIT/blob/master/demo/log\\_examples/nurse\\_workflow.csv](https://github.com/Siella/ProFIT/blob/master/demo/log_examples/nurse_workflow.csv)

УДК 004.8:681.3

## **АНАЛИЗ НОРМАЛИЗУЮЩИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЕЗМЕДИКАМЕНТОЗНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО- ДУХОВНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИХ ДЛЯ САМОРЕГУЛЯЦИИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЛИЧНОСТИ**

### **ANALYSIS OF NORMALIZING POSSIBILITIES WITHOUT DRUGS COMPUTER INTELLECTUAL AND SPIRITUAL TOOLS WHEN USING THEM FOR SELF-REGULATION OF PSYCHO-EMOTIONAL STATES OF A PERSON**

Изосимова С.А., Пигуз В.Н., Ивашко К.С.,  
ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта»,  
г. Донецк, Донецкая Народная Республика

K.S. Izosimova, V.N. Piguz, S.A. Ivashko,  
“State Institution Institute for Problems of Artificial Intelligence”,  
Donetsk, Donetsk People's Republic

e-mail: izosimova.snezhana@mail.ru

**Аннотация.** Цель работы – исследование научных основ эффективного использования безмедикаментозных информационных методов и средств (БММС)

интеллектуально-духовной терапии (ИДТ), используемых при саморегуляции психоэмоциональных состояний личности, установленных в ходе компьютерного диагностирования, анализ их возможности и применимость для этих целей. Дана общая характеристика процесса формирования эмоций. Представлены безмедикаментозные компьютерные средства и методы регуляции и терапии психоэмоциональных состояний личности. Сформирован оптимальный комплекс наиболее эффективных используемых интеллектуально-духовных безмедикаментозных средств и методов для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности; развития эмоционального слуха (ЭС). В статье используется междисциплинарный, комплексный и системный подход к решению поставленной задачи с использованием акустических, физиологических, психологических методов и разработанных компьютерных технологий. В качестве практического аспекта на примерах имманентного художественного анализа конкретных стихотворных текстов различной тематической направленности к.т.н. И.С. Сальникова доказываемость эффективности использования безмедикаментозных методов и средств интеллектуально-духовной терапии для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности как в индивидуальном, так и в коллективном порядке. Также разрабатываются и подаются практические рекомендации по использованию речевых средств саморегуляции психоэмоциональных состояний для восстановления статуса психологического здоровья личности.

**Abstract.** To analyze and develop the scientific foundations for the effective use of drug-free information methods and tools (BMMS) of intellectual and spiritual therapy (IDT) for use in self-regulation of the psycho-emotional states of the individual, established during computer diagnostics, to explore their capabilities and applicability for these purposes. To give a general description of the process of formation of emotions; drug-free computer tools and methods of regulation and therapy of psycho-emotional states of the individual. To form an optimal set of the most effective and practically used intellectual and spiritual drug-free means and methods for self-regulation of the psycho-emotional states of the individual; development of emotional hearing (ES) and intelligence. The article uses an interdisciplinary, integrated and systematic approach to solving the problem with the use of acoustic, physiological, psychological methods and developed computer technologies. As a practical aspect, on the examples of immanent artistic analysis of specific poetic texts of various thematic orientations, Ph.D. I.S. Salnikov, the effectiveness of the use of drug-free methods and means of intellectual and spiritual therapy for self-regulation of the psycho-emotional states of the individual is proved. Practical recommendations are also being developed on the use of speech means of self-regulation of psycho-emotional states to restore the status of a person's psychological health.

**Ключевые слова:** безмедикаментозные информационные методы и средства (БММС), интеллектуально-духовная терапия (ИДТ), психоэмоциональные состояния личности, саморегуляция, компьютерное диагностирование, эмоциональный слух (ЭС).

**Keywords:** drug-free information methods and means (BMMS), intellectual-spiritual therapy (IDT), psycho-emotional states of the individual; self-regulation, computer diagnostics, emotional hearing (ES).

Современное развитие информационных технологий, систем искусственного интеллекта и колоссальный объем информации в обществе привнесли в трактование понятия интеллектуально-духовных средств и их специфики свои коррективы. Это

касается и эволюции человеческого общества в целом. Л.А. Крапивина, исследователь-психолог, выделяет ряд основных признаков современного общества:

- постоянные, происходящие с максимальной скоростью, изменения в окружающем мире, т.е. «высокая турбулентность»;
- появление множества возможностей (в том числе и благодаря IT-технологиям) для бесконтрольного получения информации – «информационный хаос»;
- с одной стороны, IT-технологии, но с другой – бессистемное распространение новых знаний;
- возможность постоянного общения, получения новых знаний, впечатлений и ощущений в сети способствует глобальному перенапряжению, эмоциональному выгоранию не только у взрослых, но и у детей. Очевидно, что рост информационных потоков обретает в современном мире поистине лавинообразный характер – и это далеко не всегда благо, особенно для формирующейся личности ребенка. Одной из главных нормализующих возможностей интеллектуально-духовных средств при использовании их для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности является борьба с негативным влиянием информационной зависимости. Согласно исследованиям ученых Лондонского университета, проведенным под руководством профессора Г. Вилсона, потоки информации, включающие всевозможные СМИ, интернет-чаты, телефонные звонки и т.п. наносят интеллекту человека вред, превышающий вред от употребления наркотических веществ. «Инфомания» по праву считается болезнью XXI века. Ее влияние на молодой организм (в среднем 11-15 лет) может привести к физическому истощению: бессонница, чрезмерная прибавка или потеря веса, то же самое с аппетитом, реальная невозможность выполнять даже самые простые физические упражнения и т.п. В психоэмоциональном аспекте влияние инфомании на личность отрицательное и может дойти до психического расстройства: агрессия, раздражительность, состояние фрустрации, негативная реакция на окружающих и др.

Поэтому главной задачей современных интеллектуально-духовных средств, при использовании их для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности, является борьба с безнормативностью. То есть борьба с информационными атаками, стрессом и как его последствием – эмоциональным выгоранием, преобразующимся со временем либо в аутоагрессию, либо в агрессивное поведение по отношению к близким родственникам, т.к. это наиболее безопасно.

Таким образом, использование безмедикаментозных интеллектуально-духовных средств переходит на новый технологический уровень. Предполагается создание комплекса методик, опросников и шкал, отражающих основные психоэмоциональные состояния личности и способствующих их саморегуляции, с последующим их экспериментальным апробированием.

### **Интеллектуально-духовные средства – терапевтический эффект, общие классификации**

Согласно мнению С.А. Трифоновой, В.В. Козлова [1] в общем случае интеллектуально-духовные средства классифицируются на вербальные (для достижения позитивного терапевтического эффекта используют слова: библиотерапия, метод написания писем; всевозможные методики, опросники и шкалы – например, тест-опросник самооценки (В.В. Столыпин), опросник В.И. Моросановой «Стиль жизни»; опросник на выгорание; школа тревожности; шкала дифференциальных эмоций Изарда и т.п.); невербальные – музыка-, цветотерапия, метод очищения чакр и пр.; синкретические, объединяющие позитивный терапевтический эффект слова и аудиовизуального образа (наиболее актуально для использования современных

компьютеризированных интеллектуально-духовных средств): эти проблемы исследуются в рамках НИР «Разработка компьютерной системы психофизиологического тестирования, интеллектуально-духовной реабилитации и безмедикаментозной терапии»; НИР «Исследование эффективного использования безмедикаментозных методов и средств интеллектуально-духовной терапии для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности», которые проводит ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк.

### **Рассмотрение нормализующих возможностей интеллектуально-духовных средств при использовании их для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности**

Для дошкольного, младшего школьного возраста большей силой терапевтического воздействия разработаны невербальные интеллектуально-духовные средства. Воздействуя на слуховые, обонятельные, зрительные, осязательные центры НС человека, расположенные в центральном органе НС – головном мозге (рисунок 1), они стимулируют для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности внутренний энергетический потенциал организма.

С возрастом интеллектуально-духовный потенциал личности возрастает, вследствие образования, воспитания, контактов с близкими людьми (внутрисемейные отношения) и окружающим миром (концепция интерсубъективности С. Рубинштейна – познание себя посредством взаимодействия с окружающим миром и людьми). Возрастает и степень эмоционального напряжения.

### **Невербальные интеллектуально-духовные средства**

Психофизиологическое восприятие человеком текстово-иллюстративной информации это сложный процесс, который проходит определенные пути от чувственного восприятия до конкретных знаний, умений и навыков.

Взаимосвязь человеческих эмоций с восприятием образов изучается и исследуется давно. Исходным моментом в познании внешнего мира является чувственное восприятие, отображающее вещь в целом. На основе восприятий формируются представления, заключающиеся во внутренних образах, хранимых в памяти человека. Представления тесно связаны с восприятиями и одновременно создают основу для формирования понятий. Они являются мостом между вербальным и невербальным восприятием действительности. Вместе с тем, представления – это не просто наглядные отражения действительности. От восприятий они отличаются тем, что, как правило, носят более или менее обобщенный характер. В процессе возникновения представлений участвуют не только отдельные анализаторы, но и создаваемые ими на основе первой сигнальной системы временные связи. Помимо этого, содержание того или иного представления облекается в определенную языковую форму. Таким образом, на формирование представлений оказывает немалое влияние и вторая сигнальная система. Представления выступают как форма чувственного отражения действительности, включающая в себя некоторые моменты логического познания, а понятия являются основными элементами последнего. То есть можно сказать о том, что в познавательном процессе сходны не только ступени познания, но и формы. Так, на ступени «живое созерцание» – «конкретные знания» основными формами познания будут ощущения, восприятия и представления. На втором этапе познания «абстрактное мышление» – «обобщенные знания» основными формами будут понятия, закономерности, законы.

Человеческий глаз имеет способность различать электромагнитные волны в пределах световой части по их длине. Восприятие зрительным анализатором волн разной длины определяется человеком как различие цветов. Вся видимая часть электромагнитных волн создает цветную гамму с постепенным переходом от красного к фиолетовому – цветной спектр, который, как известно, состоит из семи основных цветов (красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового). Изучена и исследована Ньютоном, Ломоносовым и Гельмгольцем теория так называемого цветного зрения рассматривает центральную часть сетчатки глаза как приемник цвета, благодаря наличию в ней трех компонентов для восприятия красного, зеленого и фиолетового цветов. Каждый цвет характеризуется тремя признаками: тоном, насыщенностью, яркостью и восприятие его зависит от их интенсивности.

Логическое познание базируется на основных формах мышления, каковыми являются понятия, суждения, умозаключения. Важное значение в оценке качества изображения играет зрительная система человека, особенности и характеристики которой должны быть рассчитаны при разработке критериев оценки качества. Как известно, зрительная система человека при восприятии изображения работает как дифференциальный анализатор, который выделяет и передает в мозг человека наиболее существенную часть визуальной информации. Она имеет систему непостоянных параметров и характеристик (амплитудная, частотная), которая зависит от таких внешних факторов как уровень яркости изображения, условия адаптации глаза и др.

Необходимо отметить, что более 80% информации человек воспринимает визуально, посредством органов зрения. Поэтому интеллектуально-духовные средства визуального способа воздействия, используемые для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности, обладают значительным влиянием на НС человека. Родоначальником цветотерапии как науки принято считать Гете, трактат «Учение о цвете».

*Цветотерапия (хромотерапия); цветное дыхание (цветомедитация); биорезонансная офтальмоцветотерапия; (8-цветовой тест Люшера – для оценки психоэмоционального состояния личности) – базируются на влиянии электромагнитных волн цветового диапазона.*

Процесс формирования эмоции при получении зрительной информации. Эмоция – эмоциональное состояние – это реакция организма человека на поступивший извне раздражитель: визуальный, кинестетический или аудиальный. От органа, воспринявшего информацию (в данном случае, глаза) посредством нейронов, информация передается в головной мозг – таламус, а именно – в ядро таламуса. Там происходит процесс первичной обработки поступившей информации и формирования эмоций.

Информация, прошедшая обработку в таламусе, передается в миндалевидное тело, находящееся в височной доле и являющееся частью лимбической системы. Лимбическая система, в свою очередь, координирует множество процессов в организме, в том числе эмоциональные и мотивационные. Миндалевидное тело является важнейшим органом при формировании эмоций. Из миндалевидного тела сформированная эмоция передается в лобную долю головного мозга, разделенную на множество зон.

В орбитофронтальной коре пересекаются лимбическая и префронтальная системы. Благодаря чему последняя причастна к сложным эмоциональным процессам: оценка обстановки, последствия действий и принятия решения – выработки линии поведения. Таким образом, головной мозг – сложнейшее клеточное образование, информация в котором передается посредством нейронных мозговых медиаторов. С их помощью сформированная эмоция из ЦНС передается в периферическую – спинной

мозг. А уже оттуда – в мышцы, таким образом превращая эмоцию (информацию, сигнал) в действие (эмоциональную, психофизиологическую реакцию) организма.

Малейшее нарушение данной цепочки может привести к тяжелым последствиям. Например, нестабильная работа мозговых медиаторов, в результате чего происходит хаотичная передача информации в разные отделы мозга и возникает шизофрения.

Биорезонансная цветотерапия помогает не только улучшить психоэмоциональное состояние, но и предотвратить целый ряд заболеваний. Что связано с воздействием волн определенной длины на органы и психические центры организма.

Особо следует отметить тот факт, что энергия, воплощенная в звуке и вибрации, является неоспоримым свойством окружающего мира. Именно этот фактор принимает участие в процессе формирования морфологических и функциональных структур. Музыка сопровождает человека практически всю жизнь. В музыке заложен огромный терапевтический потенциал. Человечеству известно об этом еще со времен древней Греции. Например, у Гомера упоминается, что исполнение мелодических песен способствовало исцелению ран героев. А Пифагор в своей легендарной школе в обязательном порядке ввел занятия хоровым пением, ибо «гармония в музыке рождает гармонию в душе». Согласно летописям, Эскулап своей музыкой – громкими звуками трубы, «возвратил безумному благоразумие», Демокрит же многие болезни, в том числе и духовного плана, исцелял игрой на флейте. Особой популярностью на Руси в этой сфере пользовался колокольный звон. С его помощью излечивали головные боли, нервозность и проч. [3].

Именно музыка, ее главные компоненты – мелодия и ритм, способны безмедикаментозным путем перестроить эмоциональное состояние человека, изменить настроение. Первым, кто начал составлять «Книгу музыкальных рецептов», является Пифагор. Он использовал музыку для лечения «пассивности души» [4].

И.Р. Тарханов в XIX в. доказал на практике, что мелодии, доставляющие радость, благотворно влияют на организм и эмоциональное состояние человека. В XX в. В.М. Бехтерев при помощи результатов многочисленных экспериментальных исследований, проведенных под его руководством, доказал, что «...с помощью музыкального ритма можно установить равновесие в деятельности нервной системы человека. Умерить слишком возбужденные темпераменты и «растормозить» заторможенных, урегулировать неправильные и лишние движения» [5, С. 50]. Б. Петровский, известный русский хирург, использовал музыку при проведении сложных операций «для более гармоничной работы организма». В XX в. множество работ по музыкотерапии издается у Б.М. Теплова, Л.С. Выготского.

### **Процесс формирования эмоции при получении звуковой информации**

Человек воспринимает звуки посредством уха – сложной системы, состоящей из трех частей: наружного (внешнего), среднего и внутреннего уха. Внешнее ухо состоит из ушной раковины, слухового прохода и барабанной перепонки. То есть изначально оно улавливает звуки, а потом, усиливая, передает к барабанной перепонке. Среднее ухо – полость за барабанной перепонкой, в которой расположена система миниатюрных косточек, которая в свою очередь состоит из трех компонентов и называется «молоточек, стремя и наковальня». Евстахиева труба соединяет среднее ухо с носоглоткой. Внутреннее ухо отделяется от среднего овальным отверстием и состоит из улитки и полукружных каналов. Внутри находится перепончатый канал, заполненный жидкостью, к задней стенке которого крепится рецепторный аппарат [4].

Звуковая волна через раковину попадает в слуховой проход, где вызывает колебания барабанной перепонки, а они передаются косточкам среднего уха. Молоточек

соединен с барабанной перепонкой, а стремя с улиткой. По этой системе рычагов колебания барабанной перепонки усиливаются и передаются во внутреннее ухо, вызывая колебания жидкости, заполняющей улитку.

Волосковые клетки, которыми покрыты стенки рецептора улитки, улавливают только звуки определенной частоты. При помощи волосковых клеток полученная энергия механических колебаний преобразуется в электрические импульсы, передающиеся в мозг через слуховой нерв. Там они преобразуются в слуховые образы, для правильной расшифровки которых мозг использует знания о звуковой картине мира, накопленные за жизненный период человека. Поэтому человек может правильно интерпретировать звуковые волны прямо в процессе восприятия.

Любая музыка представляет собой звуковую волну, влияющую на организм человека двойным действием: физическим (на ушные рецепторы и кожу) и психофизиологическим (на мозг). Реакция на музыку возникает благодаря вегетативной нервной системе. То есть той части нервной системы, которая функционирует внутри органов человеческого организма и не контролируется сознанием. Таким образом, при получении звукового сигнала тело человека реагирует рефлекторно. Вибрация звуков создает своеобразные энергетические поля, заставляющие резонировать каждую клетку организма. Человек буквально поглощает музыкальную энергию, в результате чего нормализуется психофизиологическое эмоциональное состояние организма.

Следующим по степени воздействия интеллектуально-духовным методом, основанном на вербальном звуковом эффекте, является библиотерапия (от греческого «библион» – «книга», в целом означает «лечение книгой»). Это синкретический метод, объединяющий в своем пространстве особенности социального, эмоционального, биологического, семантического, лингвистического, художественно-образного, творческого и т.п. Путем рационально подобранной литературы, самостоятельно или при помощи специалиста, достигается нормализация психоэмоционального состояния, учитывающая проблемы личности.

Сегодня существуют несколько общепринятых трактовок термина библиотерапия.

1. *Библиотерапия* – терапевтическое воздействие на психику пациента путем чтения книг.

2. *Библиотерапия* – специально подобранные материалы информационного и художественного плана используются в качестве дополняющего основной курс лечения средства в медицине и психотерапии.

Наука библиотерапия возникла как взаимодействие медицины и библиотечного дела. Ее главной целью является формирование у человека способностей и навыков, необходимых для преодоления и противостояния нестандартным ситуациям – депрессиям, стрессам, даже болезням. Уникальным свойством данного метода является то, что его можно использовать как для лечения больных, так и для укрепления и нормализации эмоционального состояния здоровых физически людей.

Из вышесказанного можно сформулировать четыре основополагающие цели библиотерапии:

1. Определить и представить человеку информацию о его проблемах;
2. Помочь их осознать, проникнуть в их суть;
3. Обсудить возможные пути решения, новые ценности и отношения;
4. Наглядно показать пациенту, что его проблемная ситуация – не безвыходная, другие люди тоже сталкивались с подобными проблемами и находили пути решения.

В качестве примера использования библиотерапии приведем отрывок из стихотворения «Рождественские фантазии» к.т.н. И.С. Сальникова (2013 г.):

*«Я изведаль жар пустынь Кавказа*

*И батумских пристаней дожди...  
Силу слов и действенность приказа...  
Мне казалось: лучшего не жди.  
Но теперь я знаю, что есть море  
Как любви источник и предел...  
Там оно гуляет на просторе,  
Но оно осталось не удел.  
Сохрани меня, моё презренье,  
Я всегда отмечен был тобой:  
На душе холодное течение (кипенье)  
И сирени шелест голубой.  
Я поэт русских равнин и поля...» [6].*

Перекрестная рифма, усиленная аллитерацией звонких согласных [б]: «*Будь на то моя и божья воля*»; ассонансом гласных [e], [o], [a], [я]: «*Там оно гуляет на просторе, но оно осталось не удел*».

Перекрестный ритм довольно часто встречается в музыке и называется полиритмией («поли» – «много», «более одного»), берет свое начало в джазовой и блюзовой музыке, а также классической индийской, карнатической музыке. Например, *Wow Wow Wow «I Want Candy»*. Полиритм в музыке также называют кросс-ритмом, когда на нем базируется все музыкальное произведение, а не только отдельные его части.

В классической музыке полиритмия характерна для музыкальных произведений Ф. Шопена, А. Веберна, А.Н. Скрябина, «На прекрасном голубом Дунае» И. Штрауса. Последнее музыкальное произведение по ритмо-мелодическому составу будет оптимальным музыкальным сопровождением для данного стихотворения.

Стихотворение наполнено визуальными метафорическими образами с преобладающей сине-голубой (антистрессовой) гаммой: «...*море как любви источник и предел...*», «...*И сирени шелест голубой...*», что способствует успокоению нервной системы человека.

Образ лирического, авторского «Я» – главного героя данного произведения, находится в постоянном поиске смысла жизни, собственного места в этой жизни. Аллегорически переплетаются реальные географические точки: Кавказ, море, степи, Батумские пристани с личными переживаниями автора в определенный период жизни: «...*силу слов и действенность приказа...*», «...*лучшего не жди...*» [6]. Однако, стихотворение обладает потрясающим позитивным настроением, читатель видит на авторском примере, что жизнь продолжается, она наполнена красотой, энергией и новизной: «*Но теперь я знаю, что есть море как любви источник и предел...*»; «*Я поэт русских равнин и поля... Будь на то моя и божья воля, я бы здесь нашёл свою любовь*» [6].

Данное стихотворение относится к новому направлению стихотворного жанра: интеллектуальной философской поэзии, поэтому обладает основными признаками романтизма, реализма и символизма. Автор упоминает названия реальных географических объектов, где он побывал: Кавказ, батумские причалы, Черное море, донецкие степи и т.д. – таким образом, прослеживается реальная связь с действительностью. Стихотворение пронизано символическими образами Любви, как смысла жизни; Жизни, как процесса постоянного поиска и движения; «Я» лирического героя – обобщенный философский художественный образ странника, преодолевающего трудности на жизненном пути: теряющего и обретающего. Данное стихотворение – наглядная иллюстрация духовного поиска – себя, своего места в жизни, любви и понимания. Заканчивающегося мощным позитивным утверждающимся аккордом жизни: «*Я поэт русских равнин и поля... Будь на то моя и божья воля, я бы здесь нашёл свою любовь*» [6].

Таким образом, темой стихотворения является экзистенциальный поиск человека себя и своего места в жизни. Человек находится в поиске (себя, смысла жизни, любви, места и т.п.) на протяжении всего жизненного пути. Недаром еще древние греки говорили, что движение – это жизнь. Никогда не следует останавливаться на достигнутом, лишь движение вперед – залог успеха. Кроме того, произведение базируется на основных принципах философии экзистенциализма, определенных Антуаном де Сент-Экзюпери: каждый человек делает свой выбор и несет за него ответственность; человек – сам творец своей судьбы, а не игрушка Рока; духовное (чувства) превалирует над материальным.

У читателя стихотворение вызывает прежде всего размышления о жизненном пути, его позитивных и негативных аспектах, направляет человека к поиску себя и своего места в жизни. Формируется понимание того, что жизнь – не только калейдоскоп черного и белого, жизнь во всем разнообразии бытия превосходная, удивительная и неповторимая. За себя и свое счастье нужно бороться и его необходимо искать. В основе композиции стихотворения находится развитие эмоционального контраста между позитивными и негативными эмоциями, что приводит к эмоциональному катарсису и утверждению, что жить необходимо. Жизнь – это поиск, борьба, достижения, взлеты и падения... Жизнь – это постоянное движение.

Из вышесказанного следует вывод: данный текст, благодаря своему позитивному энергетическому ритмо-мелодическому заряду, рекомендован для прочтения людям, находящимся в легкой форме депрессии; в кризисной ситуации: перед выбором, сомневающимися в себе, для укрепления веры в себя и свои силы.

Ярким примером терапевтического эффекта религиозной лирики является стихотворение «Теория людских страданий Н.Е. Пестова», оформленное эпитафией, взятым из проповедей Преподобного Ефрема Сирина: «Если будут окружать тебя скорби, то знай, что они отверзнут тебе райскую дверь».

*Вопреки всем ожиданиям жизнь наполнилась после  
Грехопадения Страданием, Трудом, Болезнями.  
Поэтому добродетель терпения является  
Совершенно необходимой христианину  
Как благодушное перенесение скорбей и страданий.  
Страдание имеет много видов, причин и целей:  
Помимо страданий, посылаемых Богом,  
Бывают и самопроизвольные страдания  
И надо уметь разбираться в своих страданиях.  
Скорби и страдания могут поражать  
И Тело, и Душу, и Дух.  
Тело они поражают болезнями, голодом, холодом,  
Непосильным трудом и скудостью во всём необходимом.  
Душу они поражают печалью, сердечной тоской,  
Страданием от заключения, от разлуки и т.п.  
Дух может страдать от мучений совести,  
Состраданием горю близких, печалью за их грехи и т.д.  
Есть много причин, по которым нам посылаются  
Скорби и страдания. При этом никогда нельзя думать,  
Что посылаемые страдания, несчастья и беды  
Могут идти от людей: все кресты идут от Господа Бога,  
Как беспредельно милостивого, так и беспредельно  
Премудрого. Одной из основных причин посылаемых  
Нам страданий является наша греховность.*

*В этом случае страдания посылаются нам как средство,  
Противодействующее тому вреду, который приносится  
Нашей душе грехом и наличием в ней страстей и пристрастий.  
Так сохраним же свои Тело, и Душу, и Дух от страданий!  
Пусть будут светлы и чисты наши помыслы, дела и поступки!  
Пусть се будет так! Аминь! [7]*

По своему композиционному принципу поэзия напоминает молитву и заканчивается характерным для молитвы – «Пусть се будет так! Аминь!». Стихотворение состоит из двух 15-рядковых строф. Чередующиеся параллельная и перекрестная рифма, возвышенное сольное крещендо голосовых аккордов, превращают данное произведение в своеобразный аналог церковных песнопений. В ритмомелодическом плане наиболее близким по ритмическому заряду к данной поэзии является «Аве Мария» Ф. Шуберта. Музыкальные эмоции парадоксальны, в их основе находится дуалистичность, двойственность: с одной стороны, потрясающее семантическое выражение страдания, скорби; с другой, «...целостное художественное впечатление оставляет ощущение непреходящего восторга» [7]. Главный аффект, содержащийся в поэзии – это любовь к Богу и стремление к самосовершенствованию, воплощенные в словах: «Так сохраним же свои Тело, и Душу, и Дух от страданий! Пусть будут светлы и чисты наши помыслы, дела и поступки! Пусть се будет так! Аминь!» [7]. В этом заключается и основная мораль-вывод всего произведения.

Следует также отметить, что духовная музыка (ритмика и мелодия) многих народов тесно взаимосвязана и будто перетекает одна в другую. Прослеживаются определенные общие схожие черты церковной музыки с музыкальным жанром спіричуэлс – духовные гимны афроамериканцев. Глиссандовые звучания, нетемперированные аккорды, особая эмоциональность партии солиста, возвышенная аффективная акцентуация на любви к Богу – вот основные черты данного музыкального жанра.

Использование автором старославянской церковной христианской лексики («Преблагой», «Премудрый», «и Тело, и Душа, и Дух», «Грехопадение» и пр.) носит характер градации и приводит читателя к катарсису, очищению. Поэзия учит не только преодолевать собственные страдания, но и помогать другим людям пройти жизненные испытания и сохранить свою внутреннюю сущность. Композиционно стихотворение состоит из 2 строф и вывода-морали. В 1 строфе автор объясняет, что представляют собой страдания и к чему они могут привести как в физическом, так и в психологическом смысле. Автор изображает достаточно широкий спектр страданий не только физического, но и духовного плана. Причем «страдания Души и Духа» гораздо сильнее, острее и болезненнее, чем физические:

*«Бывают и самопроизвольные страдания  
И надо уметь разбираться в своих страданиях.  
Скорби и страдания могут поражают  
И Тело, и Душу, и Дух.  
Тело они поражают болезнями, голодом, холодом,  
Непосильным трудом и скудостью во всём необходимом.  
Душу они поражают печалью, сердечной тоской,  
Страданием от заключения, от разлуки и т.п.  
Дух может страдать от мучений совести,  
Состраданием горю близких, печалью за их грехи и т.д.» [7].*

Во 2 строфе поэзии автором очерчиваются пути победы над страданиями. При этом подчеркивается, что страдания (беды) исходят не от людей, а от Бога и ниспосланы в качестве испытаний. Чтобы человек их превозмог, победил и стал лучше, чище и

совершенней. При этом к греховности относятся «страсти и пристрастия», т.е., говоря языком психологии – состояния аффекта любви к Богу:

*«При этом никогда нельзя думать,  
Что посылаемые страдания, несчастья и беды  
Могут идти от людей: все кресты идут от Господа Бога,  
Как беспредельно милостивого, так и беспредельно  
Премудрого. Одной из основных причин посылаемых  
Нам страданий является наша греховность.  
В этом случае страдания посылаются нам как средство,  
Противодействующее тому вреду, который приносится  
Нашей душе грехом и наличием в ней страстей и пристрастий» [7].*

Автор ведет с читателем диалог, объясняет, что несмотря на то, что все мы грешны, «подвержены страстям и пристрастиям», но каждый может измениться, преодолеть страдания, испытания и стать лучше, совершеннее. Стать чище и в помыслах, и в делах. Страдание – это испытание, посланное Богом за греховность, которое можно и нужно преодолеть.

Главным поэтическим художественным образом, центральной осью поэзии является Господь Бог. Это единый энергетический информационный центр – «Преблагой и премудрый». При этом автор неоднократно подчеркивает, что посылаемые им страдания являются испытанием, возможностью укрепить свою веру и силу духа. Подобное восприятие Бога характерно также и для индуизма и его разновидностей: буддизм, зороастризм, сикхизм и пр. Здесь воплощается один из ведущих принципов философии экзистенциализма: каждый человек не только делает свой самостоятельный выбор, но и несет за него ответственность на протяжении жизненного пути. То есть за любой поступок будет воздаяние. Бог – это «божественная реальность, которая находится внутри любого живого существа и творит окружающий мир. Бог многолик и человек может поклоняться той форме Божества, воплощенной в конкретном предмете окружающего мира, которая наиболее ему близка. При этом необходимо уважительно относиться ко всему окружающему миру.

Поэзию рекомендуется использовать для библиотерапевтического чтения людям, находящимся в кризисной ситуации: потеря близкого человека, болезнь, утрата, человек после серьезной операции, болезни, либо любого другого серьезного жизненного испытания. Главная мораль, теза подана автором в конце, как своеобразный вывод, мораль всего текста: «Так сохраним же свои Тело, и Душу, и Дух от страданий! Пусть будут светлы и чисты наши помыслы, дела и поступки! Пусть се будет так! Аминь!». Чистота духа становится залогом телесного здоровья и долголетия.

Таким образом степень влияния библиотерапии на психоэмоциональное состояние человека только возрастает и закрепляется в сознании, если ее использовать совместно с музыка- и арт-терапией. Данные интеллектуально-духовные средства воздействуют и на формирование эмоционального слуха (ЭС) человека. В. Морозов определяет эмоциональный слух, как «...способность к оценке эмоционального состояния говорящего по звуку его голоса (на основе интонации, тембра и т.п.)» [5]. Сегодня существует система разработанных психоакустических тестов с эмоционально окрашенными отрывками, речи, пения, музыкальных произведений, в исполнении профессиональных актеров, певцов, исполнителей. В 2004 г. В. Морозовым получен патент на способ оценки эмоционального слуха человека [5]. Главной задачей выступает то, что заниматься процессом развития ЭС необходимо с ранних лет.

Особое внимание следует уделить воздействию библиотерапии на развивающуюся личность, индивидуальный интеллектуально-духовный мир ребенка. Книги могут помочь привить ребенку необходимые для социальной адаптации навыки

не только коммуникативного, но и, например, гигиенического плана. Например, стихотворения А. и П. Барто «Девочка чумазая», стихотворные сказки К. Чуковского «Федорино горе», «Мойдодыр» и др. Особенно сильное влияние художественного произведения на детскую аудиторию отличается особой силой воздействия еще и потому, что сохраняет у ребенка чувство свободы выбора – собственного принятия решения, а не подчинения решению взрослых.

В настоящее время в связи с развитием новых методов психологии, психиатрии и разработки новых компьютерных технологий, получили развитие запатентованные клиничко-медицинские способы и средства интеллектуально-духовной терапии и реабилитации психоэмоционального состояния личности. Например, «Способ определения психологического типа (по К.Г. Юнгу, И.Б. Майерс, Д. Кейрси) на основе измерения свойств нервной системы человека двигательными экспресс-методиками Е.П. Ильина» – компьютерный комплекс, не только определяющий психологический тип личности человека, но и измеряющий 5 свойств нервной системы: «силу и сопротивляемость нервной системы; скорость процессов возбуждения и торможения; внешний и внутренний балансы возбуждения и торможения» [5, С. 48].

### **Выводы**

Исследованы научные основы эффективного использования безмедикаментозных информационных методов и средств (БММС) интеллектуально-духовной терапии (ИДТ) для использования при саморегуляции психоэмоциональных состояний личности в плане вербальной и невербальной классификации. Дана общая характеристика процессу восприятия и формирования эмоций; безмедикаментозным компьютерным средствам и методам регуляции и терапии психоэмоциональных состояний личности: на примере библиотерапии, цвето-, музыка- и арт-терапии, используемым как отдельно, так и в симбиозе. Определены составляющие оптимального комплекса наиболее эффективных и практически используемых интеллектуально-духовных безмедикаментозных средств и методов для саморегуляции психоэмоциональных состояний личности; развития эмоционального слуха (ЭС) и интеллекта, состоящий из индивидуального и синкретического использования специально подобранных библиотерапевтических текстов (вербальные средства ИДТ) и сопровождающих материалов: подобранных музыкальных композиций и визуальных картин (невербальные средства ИДТ).

### **Литература**

1. Козлов В.В., Трифонова С.А., Панкратова Т.М., Николаева Л.А. Социальная психология: учебник для вузов. М.: Юрайт, 2021 г. 501 с.
2. Музыкаотерапия. Лечение музыкой/Единый урок. Календарь. Методики. Материалы. – Режим доступа: <https://www.единыйурок.рф/index.php/region/item> (дата посещения: 09.02.2022 г.).
3. Пат. 2645405 Российская Федерация, МПК А61В 5/16. Способ определения психологического типа (по К.Г. Юнгу, И.Б. Майерс, Д. Кейрси) на основе измерения свойств нервной системы человека двигательными экспресс-методиками Е.П. Ильина/Автор, заявитель и патентообладатель Дроздовский Ф.К. – Заявл. 09.07.2015; опубл. 28.11.2017. – 11 с.
4. Дрешер Ю.Н. Некоторые подходы к формированию теории библиотерапии. – Режим доступа: <http://www.gpntb.ru/win/crimea98/doc2/doc140> (дата посещения: 14.02.2022 г.).

5. Изосимова С.А., Иванова С.Б., Сальников И.С., Сальников Р.И. Проблемы компьютерной библиотерапии//Проблемы искусственного интеллекта. Донецк: ГУ ИПИИ. 2018. № 2 (9). С. 47–59.

6. Сальников И.С. Опыт интеллектуального стихосложения: стихотворные тексты, 2017 (на правах рукописи). Донецк: ГУ «ИПИИ», 2021. 270 с.

7. Сальников И. С. Свет далекой звезды: Стихотворные интеллектуальные тексты И.С. Сальникова, созвучные духовной тематике, 2017. Донецк: ГУ ИПИИ, 2021 г. 36 с.

УДК 004

## ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ КАК ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОДУКТ

### VIRTUAL LABORATORIES AS AN INFORMATION PRODUCT

<sup>1</sup>Никулина Ю.С., <sup>1</sup>Ткаченко А.Л., <sup>2</sup>Федорова В.А.

<sup>1</sup>Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
г. Калуга, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва, Российская Федерация

Y.S. Nikulina<sup>1</sup>, A.L. Tkachenko<sup>1</sup>, V.A. Fedorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky,  
Kaluga, Russian Federation

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

e-mail: nikulinays@studklg.ru

**Аннотация.** В наше время направления химия играет важную роль в жизни человечества. Например, химия нужна в фармацевтике, все лекарственные средства получают с помощью проведения химического синтеза. Сейчас невозможно представить жизнь без различных моющих и чистящих средств, не говоря уже о различных полимерах (они встречаются почти в каждом современном предмете: различная кухонная посуда, приборы хозяйственного и бытового назначения, емкости для хранения, упаковки; разнообразные ткани, резинотехнические изделия из синтетического каучука) для производства всего этого необходима химия. Немалую роль химия играет в продовольствии и нужна для производства различных вкусовых добавок. Отдельного внимания заслуживает ядерная химия, разрабатывающая способы получения энергии на основе ядерных реакций. Также химия применяется в различных экспертизах. Химия сейчас есть во всех сферах жизни. Она позволяет создавать новые материалы, необходимые для жизни человека. Да, несомненно, химия важна в жизни человека, но это достаточно сложная наука для изучения, студентам данного направления приходится нелегко. Сейчас процесс обучения значительно облегчают информационные технологии. Во-первых, различные платформы помогают систематизировать базу знаний и облегчить поиск информации. Во-вторых, сейчас существует много источников, позволяющих проводить расчёты, проверку химических формул и т.д. Ну и, конечно же, виртуальные лаборатории облегчают обучение, на таких порталах любой человек может почувствовать себя химиком (ведь это очень интересно и увлекательно), а для студента это полезно наглядным примером протекания

химической реакции, ведь не всегда есть возможность провести какой-либо опыт в реальной учебной лаборатории (не всегда есть нужная посуда, оборудование, химические реактивы). В статье было проведено сравнение платформ с виртуальными лабораториями, обоснован выбор платформы, наиболее подходящей для студентов.

**Abstract.** Nowadays, chemistry plays an important role in the life of mankind. For example, chemistry is needed in pharmaceuticals, all medicines are obtained through chemical synthesis. Now it is impossible to imagine life without various detergents and cleaning products, not to mention various polymers (they are found in almost every modern item: various kitchen utensils, household and household appliances, storage containers, packaging; various fabrics, rubber products made of synthetic rubber) chemistry is necessary for the production of all this. Chemistry plays a significant role in food and is needed for the production of various flavorings. Special attention should be paid to nuclear chemistry, which develops methods of obtaining energy based on nuclear reactions. Chemistry is also used in various examinations. Chemistry is now in all spheres of life. It allows you to create new materials necessary for human life. Yes, undoubtedly, chemistry is important in a person's life, but it is quite a difficult science to study, students of this field have a hard time. Now the learning process is greatly facilitated by information technology. Firstly, various platforms help to systematize the knowledge base and facilitate the search for information. Secondly, there are now many sources that allow calculations, verification of chemical formulas, etc. And, of course, virtual laboratories facilitate learning, on such portals anyone can feel like a chemist (after all, it is very interesting and exciting), and for a student it is useful as a clear example of the course of a chemical reaction, because it is not always possible to conduct any experience in a real educational laboratory (there are not always the necessary utensils, equipment, chemical reagents). The article compared platforms with virtual laboratories, justified the choice of the platform most suitable for students.

**Ключевые слова:** виртуальная лаборатория, информационные технологии, виртуальная платформа.

**Keywords:** virtual laboratory, information technology, virtual platform.

Виртуальные лаборатории удобны для наглядного изучения химических процессов, они дают возможность проведения опытов, которые невозможно сделать в учебных лабораториях, особенно актуально вовремя дистанционного обучения [1-4]. Для исследования были выбраны следующие платформы: VR CHEMISTRY LAB, Mel Science, VirtuLab, Labster, ProgramLab, Phet.

ProgramLab – содержит более 80 виртуальных лабораторий, причем платформа включает разделы не только по химии, но и по смежным дисциплинам, а также по более специализированным направлениям, например, по медицине, физике, пищевой промышленности, нефтяной промышленности, ветеринарному делу, энергетике и теплоснабжению, металлургии. В виртуальной лаборатории воссоздается среда реального помещения, и студент может в соответствии с методикой, которую предложил преподаватель, и которую поддерживает комплекс, может выполнить все эксперименты и расчеты. Эти комплексы моделируют реальный мир. Что касается химии, платформа предоставляет доступ к следующим разделам вещества и их соединения, общая химия, физическая химия, неорганическая и органическая, коллоидная химия, химическая кинетика, термодинамика и др. Широкий спектр выбора лабораторных работ, удобный и наглядный интерфейс, главным недостатком является то, что ресурс платный.

Mel Science – это достаточно интересный ресурс для тех, кто увлекается химией. Большой каталог опытов, но они не выполняют практических целей, они включают опыты, которые не пригодятся на производстве, следовательно, не подходит студентам. Данная платформа будет более интересна не специалистам, а людям просто интересующимися химией, так она позволяет увидеть различные химические процессы. Не позволяет моделировать серьёзные опыты, в обучении студента будет бесполезна. Доступ к опытам возможен только по подписке.

VirtuLab – платформа больше подходит для школьных учебных заведений. По сравнению с другими платформами меньший ассортимент лабораторных работ, на мой взгляд опыты менее наглядны (например, не всегда понятен цвет осадка) и не отображают полностью суть химических процессов. Достаточно удобный интерфейс, ресурс бесплатный. Для студентов будет мало информации, поэтому платформа не подходит.

VR CHEMISTRY LAB – подходит как для высших учебных заведений, так и для школ. Ресурс платный, но на период пандемии является бесплатным, также есть пробная версия. Есть VR версия и веб-версия. По сравнению с аналогами подписка дешёвая (300 рублей, в то время на других платформах один опыт стоит более 1500 руб.). Среди тем: оксиды металлов, определение анионов, свойства соединений железа и алюминия, цепочки реакций, электрохимический ряд и др.

Labster – международный ресурс, его разрабатывают учёные со всего мира. Позволяет ставить более серьёзные опыты (более 200 симуляций), подходит для программ высших учебных заведений, также есть более простые опыты школьной программы. Под лабораторными работами указывается является ли опыт школьным или нет, то есть указывается его статус. Кроме того, к каждому опыту прилагается краткая теория, суть лабораторной работы, цели работы, возможности моделирования. Labster предоставляет виртуальное лабораторное моделирование в рамках биологии, биохимии, генетики, биотехнологии, химии, физики и многого другого. Удобный поиск, отличный интерфейс, лаборатории приближены к реальным. На данной платформе есть как платные ресурсы, так и бесплатные, также есть пробная версия. В оригинале сайт на английском языке.

VR-labs.ru – виртуальная лаборатория предназначена в большей степени для средних учебных заведений, тем не менее, мне кажется, что это неплохой ресурс. Создан специально для дистанционного обучения. Виртуальная лаборатория позволяет контролировать время внутри эксперимента, замедляя его или ускоряя, программа позволяет свободно моделировать. Есть разделы физики и химии, но больше информации по физике. Программу следует устанавливать на ПК [5, 6].

Phet – содержит симуляторы по физике, химии, математике, биологии, наукам о земле. Ресурс бесплатный, но содержит некоторые платные продукты. Не требует скачивания программы, удобный интерфейс, наглядные опыты, доступ к необходимой теории. Удобен для использования студентами.

## **Выводы**

В ходе исследования различных платформ с виртуальными лабораториями был сделан ряд выводов, представленных ниже.

- Во-первых, виртуальные лаборатории можно разделить на три вида:
- наиболее подходящие для школьников,
- наиболее подходящие для студентов и людей данных профессий,
- и наконец,

– просто развлекательные платформы для тех, кто просто интересуется химией, такие платформы мало подходят для обучения.

Во-вторых, в ходе исследования было установлено, что большинство хороших платформ платные, а на бесплатных ресурсах не всегда достаточно информации.

В-третьих, на разных платформах разный объем информации, количество возможных опытов, а также степень их сложности.

В-четвёртых, различия есть и в наглядности протекания химических процессов. В одних виртуальных лабораториях достаточно хорошо показаны признаки реакции (например, цвет раствора или осадка, выделение газа и т.д.), в других же наоборот это всё передано условно и не точно.

Наиболее подходящими платформами для студентов являются Labster и Phet. На данных ресурсах достаточно большая база данных, есть доступ ко многим лабораторным работам, соответствующих уровню высшего учебного заведения, есть необходимая теория, методические рекомендации, признаки протекания реакции приближены к реальным. Дают возможность самостоятельно моделировать опыт, а не действовать по алгоритму.

Виртуальные лаборатории для студентов отличный способ углубить свои знания, попробовать провести опыты. Главный плюс виртуальных лабораторий состоит в том, что студент может не бояться совершить ошибки или испортить реактивы, кроме того в таких лабораториях нет риска причинить вред здоровью (например, не приходится дышать токсичными соединениями и т.д.) Кроме того, в условиях эпидемии и дистанционного обучения виртуальные лаборатории хороший способ для студентов не пропустить важный материал и усвоить его на наглядных примерах. Виртуальные лаборатории дают доступ к отсутствующему или дорогому оборудованию, проведению опасных и проблемных лабораторных работ, являются дистанционной подготовкой к реальному практикуму, позволяют принимать самостоятельные решения при планировании и проведении эксперимента, учиться на своих ошибках. Таким образом, данные ресурсы могут быть достаточно полезны в обучении.

## Литература

1. Павлюк, А.Я. Системы электронного документооборота и управление отношениями с клиентами/А.Я. Павлюк, А.Л. Ткаченко//Актуальные вопросы современной науки: сборник статей по материалам XVIII международной научно-практической конференции, Томск, 13 февраля 2019 года. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью «Дендра», 2019. – С. 95-99.

2. Испирян, Р.А. Принятие управленческих решений посредством системы технического диагностирования/Р.А. Испирян, А.Л. Ткаченко//Развитие управленческих и информационных технологий, их роль в региональной экономике: материалы II Международной открытой научно-практической конференции, Калуга, 21-22 апреля 2016 года/Под редакцией: Пироговой Т.Э., Швецовой С.Т., Орловцевой О.М. – Калуга: ООО «ТРП», 2016. – С. 95-102.

3. Ткаченко, А.Л. Использование программы anylodgic для анализа потребительского рынка игры Genshin impact и построение прогноза/А. Л. Ткаченко, О.И. Ольшанская, О.Н. Арышева//Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2021. – № 4(17). – С. 46-51.

4. Кондрашова, Н.Г. 4.1. Риск-ориентированный внутренний контроль: практическая реализация/Н.Г. Кондрашова//Аудит и финансовый анализ. – 2019. – № 2. – С. 60-64.

5. Ткаченко, А.Л. Анализ и рекомендации по выбору аналитической платформы / А.Л. Ткаченко, И.А. Лыгин, В.И. Кузнецова // Заметки ученого. – 2021. – № 7-1. – С. 51-54.

6. Development of a simulation model for the spread of COVID-19 coronavirus infection in Kaluga region/A. Tkachenko, D. Lavrentev, M. Denisenko, V. Kuznetsova//E3S Web of Conferences, Almaty, 20-21 мая 2021 года. – Almaty, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202127001003.

УДК 004.032.8

## **АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ НАДЕЖНОСТИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

### **ANALYSIS OF SOME PROBLEMS OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS RELIABILITY**

Мехтиев Ш.А.,  
Институт информационных технологий НАНА,  
г. Баку, Азербайджан

Sh.A. Mekhtiyev,  
Institute of Information Technology of ANAS,  
Baku, Azerbaijan

e-mail: shakir.mehtieff@gmail.com

**Аннотация.** В процессе эксплуатации киберфизические системы (КФС) подвержены воздействию широкого спектра факторов, влияющих на их техническое состояние и безаварийное функционирование. Эта парадигма потребовала решения некоторых технических и научных проблем для обеспечения высокой надежности, кибербезопасности и киберустойчивости различных по назначению КФС на производстве, на транспорте, в энергетике, в коммунальном хозяйстве, в строительстве, в здравоохранении или в умных городах. Применения КФС могут быть направлены на снижение потребления ресурсов и улучшение общей эффективности процессов путем настройки под индивидуальные потребности. КФС в инфраструктуре умного города повышают общественную безопасность в целом, а внедрение интеллектуальной системы управления беспилотным транспортом предотвращает возникновение заторов и уменьшает риски аварий со смертельным исходом. Сохранение ресурсов в умных киберфизических зданиях достигается за счет лучшего управления энергоэффективностью зданий. В результате сокращаются потери электроэнергии, воды и тепла. В сельском хозяйстве за счет постоянного наблюдения за окружающей средой минимизируются влияния неблагоприятных факторов на результаты труда аграриев. Диагностические параметры, характеризующие состояния компонентов и модулей КФС, формируются на основе данных от измерительных датчиков. Общее количество датчиков для этих целей непрерывно растет. Степень их готовности надежно и устойчиво выполнять возложенные на них задачи и функции зависит от множества факторов, среди которых необходимо отметить обеспечение автономным электропитанием измерительных датчиков и систем сбора данных.

**Abstract.** During operation, cyber-physical systems (CPS) are exposed to a wide range of factors that affect their technical condition and trouble-free operation. This paradigm required the solution of some technical and scientific problems in order to ensure high reliability, cybersecurity and cyber-resilience of various CPSs in production, transport, energy, utilities, construction, healthcare or smart cities. Applications of CPS can be aimed at reducing resource consumption and improving the overall efficiency of processes by customizing to individual needs. CPS in the infrastructure of a smart city increase public safety in general, and the introduction of an intelligent control system for unmanned vehicles prevents traffic jams and reduces the risk of fatal accidents. Saving resources in smart cyber-physical buildings is achieved through better management of building energy efficiency. As a result, losses of electricity, water and heat are reduced. In agriculture, due to constant monitoring of the environment, the influence of unfavorable factors on the results of the work of farmers is minimized. Diagnostic parameters characterizing the states of the components and modules of the CPC are formed on the basis of data from the measuring sensors. The total number of sensors for these purposes is constantly growing. The degree of their readiness to reliably and steadily perform the tasks and functions assigned to them depends on many factors, among which it is necessary to note the provision of autonomous power supply for measuring sensors and data acquisition systems.

**Ключевые слова:** киберфизические системы, надежность, датчики, энергоустойчивость, энергоэффективность.

**Keywords:** Cyber-physical systems, dependability, sensors, energy resilience, energy efficiency.

## Введение

В 21 в. в сфере информационных технологий прочно закрепился термин киберфизические системы (КФС). Впервые этот термин был предложен в 2006 г. Х. Гилл (*Helen Gill*) для описания работы управляемых инженерных систем с использованием вычислительных и сетевых компонентов [1]. Предшественниками КФС можно считать микроконтроллеры реального времени, распределенные микропроцессорные системы, автоматизированные системы управления технологическими процессами и объектами, беспроводные сенсорные сети. КФС стали основой современной четвертой промышленной революции и создали новые системы и целые области исследований, такие как, автономное вождение, умные города или Интернет вещей (ИВ).

При реализации КФС необходимо учитывать ряд факторов, а именно:

- динамичность и трехмерность реального физического мира;
- анализ происходящих в физическом мире явлений и процессов в виртуальном киберпространстве вычислений и логики;
- конечное время вычислений – за это время может измениться окружение, и результирующее воздействие станет неактуальным;
- необходимость принятия решений в режиме реального времени (бесконечно малое время реакции);
- неопределенность: физические параметры, отражающие реальное состояние системы, трансформируются в сигналы датчиками, имеющими порог чувствительности, то есть наименьшее значение измеряемой величины, заметное на фоне помех или шумов.

## Надежность киберфизических систем

Следует отметить, что КФС предназначены для решения ряда проблем, среди которых особую значимость приобретают вопросы надежного функционирования, кибербезопасности и киберустойчивости. В случаях неисправности и невыполнения требуемых функций они могут стать источниками опасностей с катастрофическими последствиями. Подобные события в новейшей истории происходили неоднократно. Примеры включают нефтегазовый сектор, химическую промышленность, энергетические системы, транспортный сектор, очистные сооружения и т.д. [2-5]. Причинами этих событий могли быть как необратимые изменения физических и химических свойств материалов, влияние окружающей среды, неквалифицированное обслуживание, так и преднамеренные действия неких деструктивных сил. Интеграция цифровых технологий также приводит к увеличению сложности систем и во многих случаях приводит к скрытым уязвимостям в общей системе безопасности, которые не были учтены на этапе проектирования системы.

Поэтому надежное и устойчивое функционирование КФС, как сложной комбинированной системы, требует определенной поддержки, целью которой является:

- своевременное обнаружение возникающих аномалий;
- прогнозирование будущих состояний;
- профилактические действия по предотвращению аварийных ситуаций и возможных отказов.

Эффективное решение этих задач всегда было связано с мониторингом состояния технической системы.

Мониторинг – это процесс анализа, оценки и интерпретации результатов данных по измеряемому параметру за определенный период для проверки их соответствия эталонным (полученным опытным путем или в процессе проектирования) значениям. По результатам мониторинга можно диагностировать текущее и/или последующее состояние системы и определять упреждающие управляющие воздействия. Для осуществления качественного мониторинга в КФС необходимы:

- первичное измерительное оборудование (датчики и приборы);
- преобразование измеряемых параметров в цифровой формат;
- достаточная вычислительная мощность и хранилище данных;
- совершенная сетевая инфраструктура;
- внедрение предиктивной аналитики, позволяющей отслеживать и диагностировать состояния системы, а также прогнозировать возможные сбои.

На основе краткого анализа можно предложить некую гипотетическую инфраструктуру КФС (распределенную или централизованную), в которой ее модули (компоненты, узлы, блоки), оснащенные датчиками, объединены в сеть. В этой инфраструктуре осуществляется оперативный сбор информации о реальном состоянии каждого модуля. Собранные данные сохраняются в формате лог-файлов. При этом существует база исторических данных о состоянии модулей КФС, где прописаны их паспортные характеристики, установленные заводом-изготовителем. Это создает аналитическую среду, предоставляющую возможности интеллектуального анализа. Результатом такого анализа может быть предсказание поведения системы. Если в системе прогнозируется ухудшение ее свойств, то оперативно спланированные мероприятия предотвратят работу отдельного модуля, по которому имеется прогноз ухудшения свойств. Например, в корпоративной среде беспилотных автомобилей будет запрещен выход на линию единицы транспортного средства с недостаточной технической готовностью. И, как следствие, будут предотвращены возможные серьезные последствия (материальные потери, риски для здоровья пассажиров

транспортных средств, энергетическая безопасность и т.д.). Благодаря этому комплекс различных систем безопасности превращается в единую информационную среду для реализации функции обработки и интеллектуального анализа информации, которая может гибко реагировать на различные события.

Таким образом, адекватная оценка и диагностика технического состояния модулей (узлов, элементов и механизмов) КФС предполагают непрерывный мониторинг физических параметров, на основании которого будут делаться определенные выводы.

Традиционно используется градация технологических условий, соответствующая диапазонам значений параметров [6]:

а) нормальное состояние  $a_i < a_1$  – параметры находятся в пределах, установленных по технологической модели или стандартам;

б) граничное состояние  $a_1 < a_i < a_2$  – один или несколько параметров попеременно находятся в зоне граничных значений и, следовательно, вероятен переход в опасное состояние;

в) опасное состояние  $a_2 < a_i < a_3$  – попадание нескольких параметров в опасную зону сигнализирует о несоответствии с принятой моделью;

г) аварийное состояние  $a_3 < a_i$  – продолжение процесса невозможно; требуются восстановительные действия.

Априори мониторинг и управление состояниями КФС предполагает оснащение как минимум одним датчиком и одним исполнительным устройством (рисунок 1).

Датчик – это устройство с чувствительным элементом (сенсором), который реагирует на воздействие физических параметров (например, тепло, свет, звук, давление, магнитное поле, электрический ток или определенное движение) и преобразует его в форму, удобную для измерения, отображения для индикации или для работы системы управления. Сегодня они используются практически повсеместно: в наших домах, на рабочих местах, в торговых центрах, больницах, встроены в смартфоны и стали неотъемлемой частью ИВ.

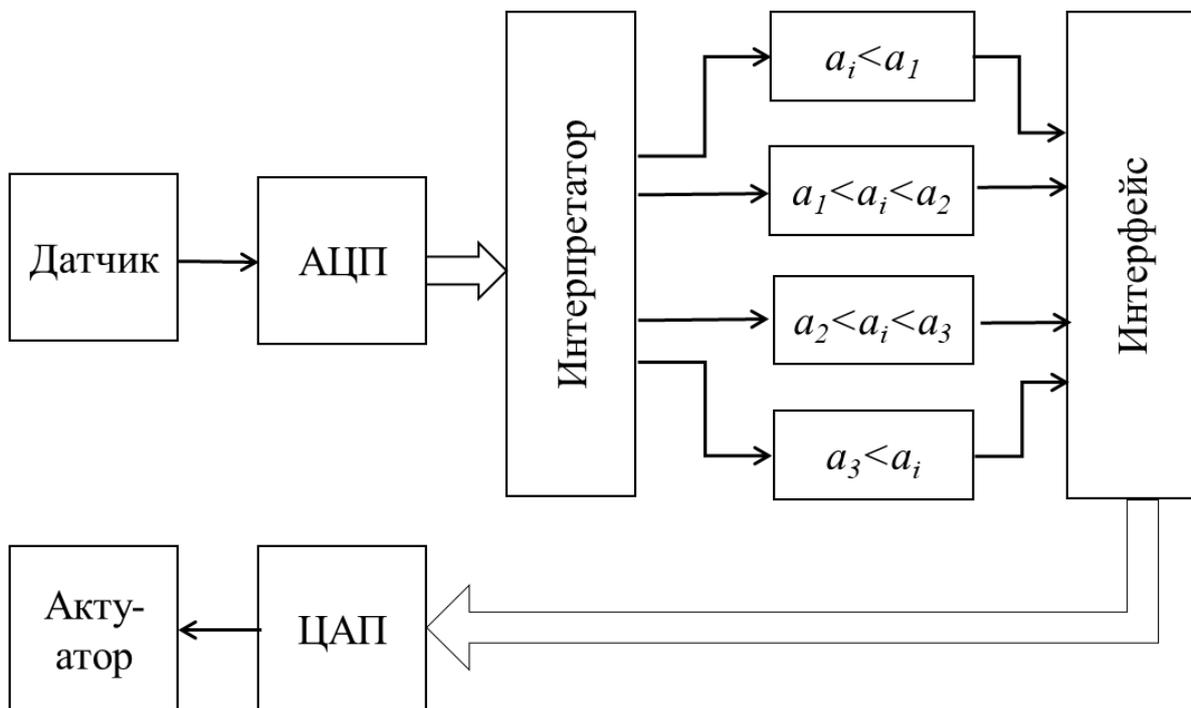


Рисунок 1. Упрощенная структура мониторинга и принятия решений

Надежность и устойчивость КФС в большой степени зависит от их безотказного функционирования, так как приложения или процессы полагаются на определенные датчики. Данные датчика также могут быть повреждены злоумышленником посредством физических атак на его модули, чтобы нарушить их доступность. Например, в КФС умного здания модуль для тушения и локализации пожара работает на основе данных от датчика температуры. Злоумышленник может манипулировать средой датчика и передать ложные данные о температуре в модуль таким образом, чтобы включить его. В промышленном приложении манипулирование данными нескольких датчиков может нарушить работу всей системы управления КФС, если не будут приняты необходимые меры безопасности.

### Энергоустойчивость датчиков в киберфизической системе

Огромное количество измерительных датчиков, развернутых в производстве, на транспорте, в энергетике, в коммунальном хозяйстве, в строительстве, в здравоохранении, в окружающей среде или в умных городах, позволяют собирать терабайты информации (*Big data*), которые могут обрабатываться в целях прогнозирования.

Большинство этих устройств работают от батарей из соображений стоимости, удобства или автономности. Несмотря на жесткие ограничения по размерам и, следовательно, емкости аккумуляторов, они должны иметь длительный срок службы (от нескольких дней до нескольких лет) без необходимости замены батарей. Разряженные батареи в измерительных датчиках и системах сбора и обработки данных могут привести к их временной неработоспособности и, следовательно, ограничить поток данных, на основании которых принимаются решения. Частая замена большого количества батарей не только дорого, но и часто непрактично. Также необходимо отметить вопросы утилизации устаревших аккумуляторов при переводе их в категорию электронных отходов [7].

Таким образом проблема обеспечения энергоустойчивости и энергоэффективности измерительных датчиков оказывают влияние на общую отказоустойчивость КФС. В то же время можно привести ряд решений этой проблемы. Рассмотрим некоторые из них.

#### *А. Технологические решения.*

- Разработка интегральных схем со сверхнизким энергопотреблением.
- Внедрение датчиков на основе пассивной технологии RFID.
- Развитие беспроводной связи с низким энергопотреблением, таких как *Bluetooth Smart*, *IEEE 802.15.4* и др.

#### *Б. Программные решения.*

- Оптимизация программного обеспечения для обеспечения высокой производительности при минимальном энергопотреблении.
- Оптимальное размещение беспроводных датчиков для снижения эффективной мощности передатчиков.
- Определение степени полезности передаваемой информации для решения задач управления.
- Программное управление производительностью компонентов СУЗ.
- Перераспределение задач между устройствами сбора и обработки данных в случаях отказов некоторых узлов [8].

#### *В. Сбор энергии из окружающей среды.*

Использование сбора энергии из окружающей среды для обеспечения автономного питания сенсорных устройств является одним из перспективных

направлений обеспечения энергоустойчивости КФС. Электричество можно получить из самых разнообразных источников, таких как солнце, ветер, химические, тепловые, радиочастотные, вибрационные и другие [9].

Выбор конкретного способа сбора энергии зависит как от характеристик конкретной КФС, так и от условий эксплуатации, требований надежности, скрытности монтажа, габаритных размеров, простоты обслуживания и т.д.

### **Выводы**

Тенденции экспоненциального увеличения сложности КФС и применений в различных сферах производства и жизнеобеспечения порождает различные технические и научные проблемы, которые необходимо решить для достижения их высокой надежности и устойчивости. Мониторинг и диагностирование технического состояния на основе анализа данных с датчиков и принятие адекватных упреждающих действий направлены на обеспечение максимально возможной надежности КФС, их безаварийной работы. Количество датчиков, предназначенных для восприятия и измерения физических параметров в системе с целями дальнейшей обработки и аналитики, непрерывно растет. Зависимость датчиков от стабильной электрической энергии сделала актуальными вопросы энергоустойчивости и энергоэффективности устройств с батарейным питанием. Одним из решений по обеспечению энергоустойчивости КФС на уровне датчиков является технология сбора энергии из окружающей среды. Энергия, необходимая для системы, берется из окружающей среды, используя солнечные батареи, воздушные потоки, вибрации механических систем, электромагнитное поле и др.

### **Литература**

1. Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems – A Cyber-Physical Systems Approach/MIT Press, 2017. – 564 с.
2. Major Offshore. Accidents of the 20th and 21st Century. Режим доступа: <https://clck.ru/sFkhq>
3. Khaitan S.K., McCalley J.D. Design techniques and applications of cyberphysical systems: A survey//IEEE Systems Journal. – 2014. – Т. 9. – № 2. – С. 350-365. DOI: 10.1109/JSYST.2014.2322503.
4. Veloza O.P., Santamaria F. Analysis of major blackouts from 2003 to 2015: Classification of incidents and review of main causes//The Electricity Journal. – 2016. – Т. 29. – № 7. – С. 42-49. DOI: 10.1016/j.tej.2016.08.006.
5. Latson J. Why the 1977 Blackout was one of New York’s darkest hours //Time. com. – 2015. – Т. 13. Режим доступа: <http://time.com/3949986/1977-blackout-new-york-history>
6. Агаев Б.С., Мехтиев Ш.А., Алиев Т.С. О вредных воздействиях медицинского электронного оборудования и его отходов на здоровье человека и окружающую среду//Информационное общество. – 2018. – № 6. – С.30-36.
7. Биргер И.Ф. Техническая диагностика/М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
8. Турута Е.Н. Концепция и методы обеспечения отказоустойчивости параллельных вычислительных систем, выполняющих фиксированные комплексы задач: дис. / Рос. академия наук. Ин-т проблем управления, 1996.
9. Priya S., Inman D.J. (ed.). Energy harvesting technologies/New York: Springer, 2009. – 524 с.

УДК 004.537.611.44,537.611.45

**ПОЛУЧЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
ИЗ РАЗНОРОДНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ  
В УСЛОВИЯХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ**

**WELDED JOINTS OBTAINING  
OF DISSIMILAR TITANIUM ALLOYS  
UNDER THE LOW-TEMPERATURE SUPERPLASTICITY CONDITIONS**

Мухаметрахимов М.Х.,  
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,  
г. Уфа, Российская Федерация

M. Kh. Mukhametrakhimov,  
Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of Sciences,  
Ufa, Russian Federation

e-mail: msia@mail.ru

**Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования твердофазной свариваемости промышленных титановых сплавов VT6 с VT14 в температурном интервале проявления низкотемпературной сверхпластичности (СП). Сварка разнородных титановых сплавов позволяет значительно снизить температуру сварки давлением за счет использования сплавов легированных молибденом (Mo). Использование промежуточного листа VT14 с УМЗ структурой, легированного для стабилизации  $\beta$ -фазы Mo, позволяет локализовать деформацию в зоне соединения за счет существенной разницы между значениями напряжения течения материала прокладки и свариваемых листов. В результате соединения получается конструкционный слоистый материал типа «Сэндвич», в котором содержатся две зоны раздела металлов – между титановыми сплавами VT6 и VT14. Как показали исследования, с приближением к зоне соединения со стороны титанового сплава VT6 в материале появляется небольшое содержания Mo и при достижении линии соединения количество Mo достигает до уровня основного состава сплава VT14. Анализ результатов механических испытаний показали, что сварка давлением листовых заготовок в различных сочетаниях способствует достижению повышенных механических свойств и качества соединения. Для сравнительного анализа в тех же условиях соединяли листовые заготовки из титанового сплава VT6 без промежуточного листа. Механические испытания на растяжения показали, что наблюдается небольшое расслоение по сварному соединению между титановыми листами VT6. И только с увеличением дополнительного сварочного давления и времени выдержки в условиях низкотемпературной сверхпластичности возможно получить качественное соединение. Таким образом, можно сделать заключение, что получение качественного твердофазного соединения разнородных титановых сплавов определяется не только размером зерна промежуточного листа, но и химическим и фазовым составом в зоне сварных соединений.

**Abstract.** Experimental studies of VT6 with VT14 industrial titanium alloys solid-phase weldability are carried out in the temperature range of the low-temperature superplasticity (SP). The VT14 with UFG structure sheet alloyed by Mo to stabilize the b-phase allows localizing deformation at the junction zone due to a significant difference between the values

of the interlayer flow stress and welded sheets. As a result, a structural laminate are obtained “Sandwich” type that contains two metal section areas between VT6 and VT14 titanium alloys. Studies have shown that in the titanium alloy VT6 near the junction zone there is a small Mo content. The number of Mo comes up to basic composition of VT14. Mechanical tests analysis results showed that the pressure welding (PW) sheet billets in different combinations contributes to the high level mechanical properties and joints quality. To comparative analysis the titanium VT6 sheet billet without intermediate sheet under the same conditions were joined. Mechanical tensile test showed that there is a small layering between titanium sheets in the failure zone. It was established that quality solid-phase joint can be obtained by increasing time and pressure. Thus, it can be concluded, that getting dissimilar titanium alloys high-quality solid-phase joint depends not only on the size of the intermediate sheet grains, but also on the material in the joint zone chemical and phase composition. Dissimilar titanium alloys PW can significantly reduce the temperature and time of PW under the low-temperature SP conditions.

**Ключевые слова:** твердофазное соединение, сварка давлением, сверхпластичность, титановый сплав, механические свойства.

**Keywords:** solidphase joining, pressure welding, superplasticity, titanium alloy, mechanical properties.

Титановые сплавы широко распространены в машиностроении, авиационной промышленности, судостроении и других областях науки и техники, вследствие высокой удельной прочности и коррозионной стойкости в большинстве агрессивных сред. Одним из самых распространенных и эффективных видов соединения титановых сплавов, позволяющих создавать сложные конструкции различного назначения, является сварка.

Соединение металлов и сплавов разного состава является перспективным направлением получения многофункциональных конструкций, у которых определенные зоны работают при разных условиях эксплуатации. В сварных конструкциях используются самые разнообразные титановые сплавы, их сочетания и биметаллы, и чем больше факторов влияет на сварное соединение, тем сложнее добиться необходимых свойств по всему сечению сварного соединения.

Основной проблемой соединений титановых сплавов является сложность получения равных прочности и пластичности в основном металле и сварном шве. Сварка титановых сплавов разных марок позволяет значительно снизить температуру сварки давлением за счет использования легированных Мо сплавов. Однако при создании таких композиций образуются несколько различных по структуре и свойствам зон, что затрудняет выбор последующей термической обработки.

Значительный объем экспериментальных результатов позволил надежно установить, что ускоренное образование ТФС происходит при деформационном соединении в состоянии сверхпластичности по сравнению с традиционной диффузионной сваркой. В частности, в работах [1, 2] на примере двухфазных титановых сплавов VT14 и VT8, легированных для стабилизации  $\beta$ -фазы молибденом (Mo), показана возможность достижения качественного соединения путем «залечивания» дефектов ТФС (микродефектов – пор и макродефектов – несплошностей) в процессе развития основного механизма СП деформации – зернограничного проскальзывания (ЗГП). Для сплава VT14 было выявлено, что вакуумный отжиг при оптимальной температуре СП деформации и соответствующем ей времени не оказывает заметного влияния на изменение протяженности дефектов и изменение прочности соединения.

Таким образом, для двухфазных титановых сплавов, легированных Мо, было экспериментально установлено [1, 2], что образование ТФС определяется механизмами

СП течения, и в первую очередь, ЗГП. Однако, принимая во внимание легирование титанового сплава различающимися по своим свойствам  $\beta$ -стабилизаторами, в частности молибденом и ванадием, характеризующихся разными диффузионными параметрами [3], вероятно, вклад диффузионных и деформационных процессов в образование твердофазного соединения на различных этапах его формирования может меняться!

Непосредственное соединение титановых сплавов в различных сочетаниях при низких температурах, полученные в твердом состоянии – сваркой давлением, позволяет избежать или снизить вероятность расслоения и получить работоспособное изделие. Задачу уменьшения размера зерна в зоне сварного шва самых различных композиций следует решать путем использования сплавов с ультрамелкозернистой (УМЗ) исходной структурой.

Целью работы являлось исследование твердофазной свариваемости промышленного титанового сплава ВТ6 с промежуточным листом из сплава ВТ14 с УМЗ структурой при пониженной температуре в температурном интервале проявления низкотемпературной СП.

Материалом для исследования был выбран промышленный двухфазный титановый микрозернистый (МЗ) сплав ВТ6 со средним размером зерен 2,3 мкм и ВТ14 с более мелким размером зерен  $\sim 0,8$  мкм стандартного химического состава по ГОСТ 19807-91. Химический состав приведен в таблице 1:

Таблица 1 – Химический состав исследуемого сплава ВТ6 и ВТ14

Сплавы	Al	V	Mo	Fe	Si	O	C	N	H	Zr
<b>ВТ6</b>	6,5	5,1	–	0,3	0,1	0,2	0,1	0,05	0,015	0,3
<b>ВТ14</b>	3,5-6,3	0,9-1,9	2,5-3,8	0,3	0,15	0,15	0,1	0,05	0,015	0,3

Соединение листовых заготовок, собранных в пакет, выполняли в штамповом блоке, включающем силовые плиты и крепежные элементы, показаны [4].

Штамповый блок устанавливали в вакуумную печь СНВЭ-1,3.1/16-ИЗ-УХЛЧ.1. Полученную таким образом сборку стягивали силовыми элементами штампа, а затем устанавливали в вакуумную печь. Сварку в твердом состоянии осуществляли приложением газообразного аргона из штуцера через гибкую мембрану на свариваемые заготовки. Глубину вакуума в процессе эксперимента поддерживали не хуже  $P=2,0 \times 10^{-3}$  Па. Качество твердофазного соединения (ТФС) оценивали по результатам механических испытаний на растяжение в соответствии с ГОСТ 6996-66 и на сдвиг по методике, подробно представленной в [5], а также металлографических и фрактографических исследований с помощью сканирующего электронного микроскопа «TESCAN MIRA3 LMU» по относительной объемной доле (протяженности) пор в поперечном сечении зоны соединения. Относительную протяженность пор ( $L_p$ ) в зоне ТФС оценивали по формуле:

$$L_p = L_{pi} / L_o$$

где  $L_{pi}$  – суммарная протяженность пор в плоскости шлифа,

$L_o$  – длина исследуемого участка вдоль линии соединения в плоскости шлифа.

Средний размер зерен  $d$  определяли методом секущих [6]. Химический анализ проводили с помощью приставки для энергодисперсионного анализа Oxford Instruments X-act.

Для испытаний на сдвиг из двухслойных пакетов, сваренных между собой, вырезали специальные образцы, эскиз которых приведен на рисунке 1.

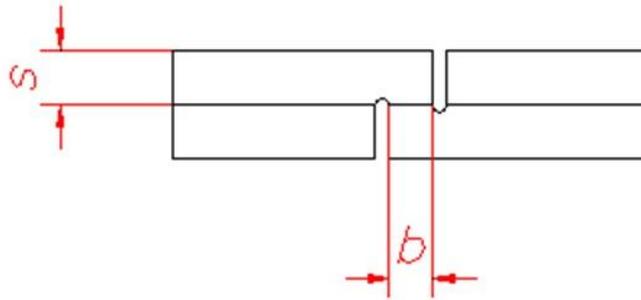


Рисунок 1. Поперечное сечение образца для испытаний на сдвиг

Образцы на сдвиг вырезались таким образом, что условная линия ТФС располагалась в средней части образца параллельно оси растяжения.

Согласно методике [5] при толщине листовых заготовок  $s = 1,5$  мм ширину нахлеста в образцах  $b$  выбирали равной 0,5 мм.

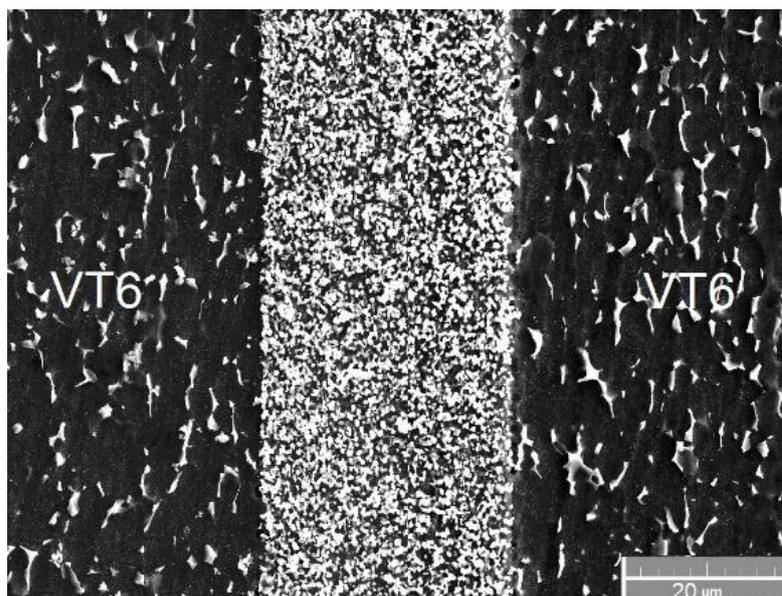
Испытания проводили на растяжение и на сдвиг при комнатной температуре на универсальном динамометре фирмы «Instron» модели 5982 по стандартной методике.

Эксперименты по сварке давлением проводили по двум схемам.

В первом случае соединяли листовые заготовки из титанового сплава ВТ6 с промежуточным листом ВТ14. В результате соединения получается слоистый композит, в котором содержатся две зоны раздела металлов – между титановыми сплавами ВТ6 и ВТ14 (зона ВТ6 + ВТ14) и (зона ВТ14 + ВТ6).

Во втором случае для сравнительного анализа соединяли листовые заготовки из титанового сплава ВТ6 между собой без промежуточного листа.

На рисунке 2а представлена микроструктура сварных соединений титанового сплава ВТ6 через прокладку из УМЗ сплава ВТ14. Как показали исследования (рисунок 2б), с приближением к зоне соединения со стороны титанового сплава ВТ6 в материале появляется небольшое содержание Мо и при достижении линии соединения количество Мо достигает до уровня основного состава сплава ВТ14.



а

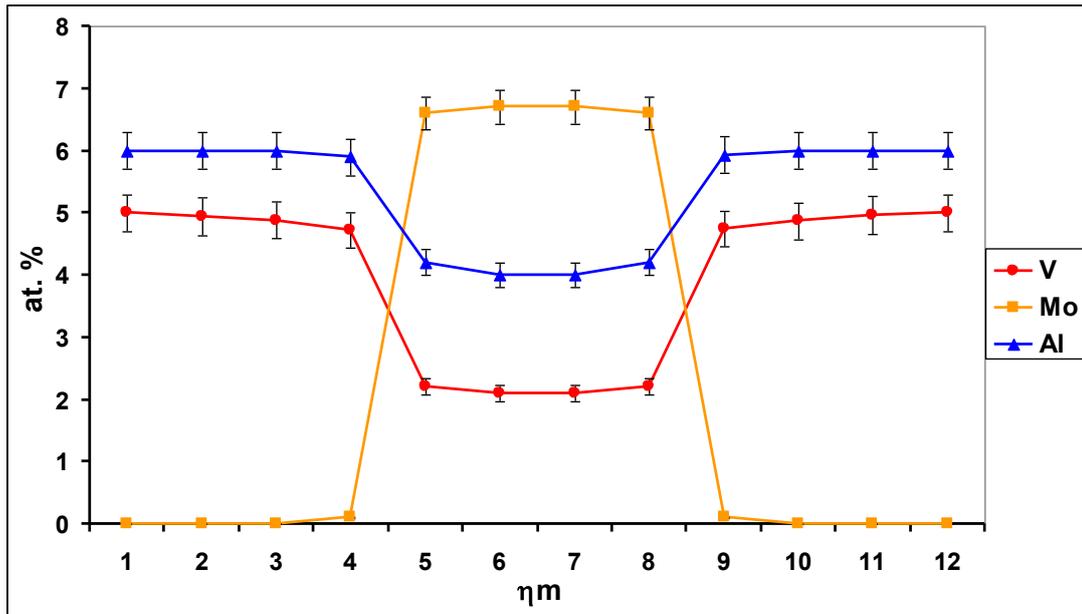


Рисунок 2. Микроструктура в зоне ТФС – (а) и микроанализ границы соединения – (б) после сварки давлением при температуре  $T=700^{\circ}\text{C}$

По результатам фазового анализа титановых сплавов типа ВТ6 известно, что после нагрева и выдержки при температуре СП происходит заметное повышение количества объемно-центрированной кубической (ОЦК)  $\beta$ -фазы [7], которая обладает более высокой диффузионной проницаемостью, чем гексагональная плотноупакованная (ГПУ)  $\alpha$ -фаза, что и приводит к росту эффективного коэффициента диффузии сплава. Кроме того, в двухфазном титановом сплаве ВТ6  $\beta$ -фаза играет заметную роль в деформационном «залечивание» пор. В процессе СП деформации  $\beta$ -фаза являясь более пластичной, чем  $\alpha$ -фаза, проникая в полость вытянутых пор, разделяет на более мелкие и/или полностью заполняет их с увеличении степени деформации [8].

С уменьшением размера зерна в сплаве увеличивается суммарная протяженность их границ, что объективно обуславливает повышение доли ЗГП в процессе всей деформации [9].

Деформационные полосы способны перераспределяться в объеме материала, обеспечивая непрерывность течения при достаточном количестве зерен в поперечном сечении образца. Здесь одновременно действуют кооперированное ЗГП, деформация и вращение зерен, а также активно протекающие диффузионные процессы [10].

Анализ результатов механических испытаний на растяжения показали, что сварка давлением листовых заготовок в различных сочетаниях способствует достижению повышенных механических свойств и качества соединения (рисунок 3).

Результаты механических испытаний при комнатной температуре на растяжение и на сдвиг образцов, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты механических испытаний на растяжение и на сдвиг

№	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\tau_{ср}$	Примечание
1	989	1007	17,2	528	Сварка без промежуточного листа
2	1008	1025	19,4	649	Сварка с промежуточным листом

Из таблицы 2 видно, что использование промежуточного листа из ВТ14 приводит к увеличению прочности  $\sigma_b$  и  $\tau_{ср}$  при этом наблюдается небольшое повышение пластичности.

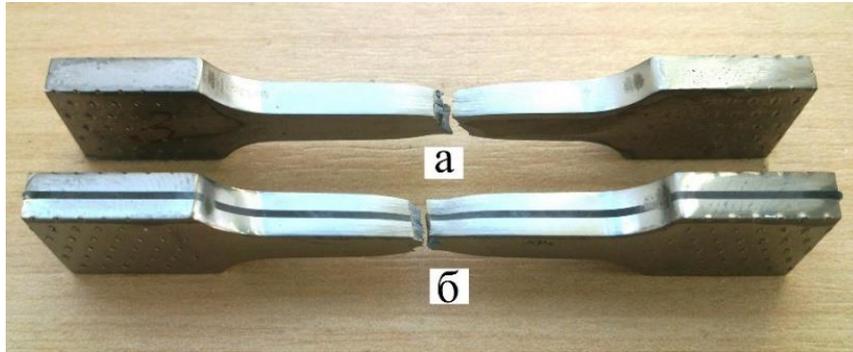


Рисунок 3. Внешний вид поверхности разрушенного образца, соединенных между собой листов, после испытания на растяжение вдоль сварного соединения:

а) сварка без промежуточного листа и б) с промежуточным листом

Как мы видим из экспериментальных данных, использование сплава ВТ14 в УМЗ исходном состоянии приводит к твердофазному соединению материалов при более низкой температуре в условиях низкотемпературной СП.

Таким образом, получение качественного твердофазного соединения различных титановых сплавов определяется не только размером зерна промежуточного листа, но и химическим и фазовым составом сварных соединений.

### Выводы

Экспериментально показана возможность получения равнопрочного твердофазного соединения листов из промышленного титанового сплава ВТ6 при относительно низкой температуре ( $T = 700^\circ\text{C}$ ) благодаря использованию промежуточного листа из ВТ14 с более мелким размером зерен  $\sim 0,8$ .

### Литература

1. Кайбышев О.А., Лутфуллин Р.Я., Бердин В.К. Механизм формирования твердофазного соединения в состоянии сверхпластичности//ДАН. 1991. Т.319. №3. 615 с.
2. Лутфуллин Р.Я., Валиахметов О.Р., Галеев Р.М., Мухаметрахимов М.Х. Сверхпластичность и свариваемость титанового сплава ВТ8 в твердом состоянии//Металлы. 2002. №2. С. 102-105.
3. Цвиккер У. Титан и его сплавы. М.: Metallurgia, 1979. 512 с.
4. Мухаметрахимов М.Х. Влияние шероховатости поверхности заготовок сплава ВТ6 на качество твердофазного соединения, полученного в условиях низкотемпературной сверхпластичности. Перспективные материалы. 2011. №12. С. 349-353.
5. Кайбышев О.А., Салищев Г.А., Галеев Р.М., Лутфуллин Р.Я., Валиахметов О.Р. Патент РСТ/US97/18642, WO 9817836, 30.04.1998.
6. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография.//М.: Metallurgia. 1976. 271 с.

7. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. М.: Металлургия. 1984. 264 с.
8. Круглов А.А. Мухаметрахимов М.Х. Сварка давлением титанового сплава ВТ6 в условиях низкотемпературной сверхпластичности//Письма о материалах. 2012. Т. 2. С. 161-165.
9. Лутфуллин Р.Я., Кайбышев О.А., Валиахметов О.Р., Мухаметрахимов М.Х., Сафиуллин Р.В., Мулюков Р.Р.//Соединение в твердом состоянии нанокристаллических титановых сплавов. Перспективные материалы. 2003. №4. С. 21-25.
10. Назаров А.А. Зернограничная диффузия в нанокристаллах при зависящем от времени коэффициенте диффузии//Physics of the Solid State. 2003. № 45 (6). С. 1112-1114.

УДК 004.05

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОКОЛЕСА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ**

**IMPROVEMENT OF THE PROGRAM FOR REGULATING  
THE DISCRETE SPEED CONTROLLER OF THE WIND WHEEL  
USING A NEURAL NETWORK**

Черников В.Г.,  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,  
г. Донецк, Донецкая Народная Республика

V.G. Chernikov,  
SEI NPE “Donetsk National Technical University”,  
Donetsk, Donetsk People's Republic

e-mail: chernikov1210@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрен принцип построения системы регулирования современной ветрогенераторной установки с переменной скоростью вращения ветроколеса. Важную роль в системе регулирования играет контур регулирования скорости вращения ветроколеса. Установлено, что ветроколесо представляет собой нелинейный объект регулирования, этот факт усложняет процесс определения параметров регулятора скорости. В статье предложен вариант математической модели ветроколеса, который позволяет в процессе работы ветроустановки определять параметры адаптивного дискретного регулятора скорости вращения ветроколеса. Рассмотрена возможность применения нейросети для определения нелинейных параметров ветроколеса как объекта регулирования. В статье получена передаточная функция регулятора скорости ветроколеса в непрерывном и в дискретном виде. На базе дискретной передаточной функции получено разностное уравнение, которое положено в основу программы регулирования. Разработана программа регулирования для промышленного программируемого логического контроллера на языке программирования STEP 7. Установлена длительность выполнения программы регулирования, которая реализует функцию адаптивного дискретного регулятора скорости на базе промышленного программируемого логического контроллера. Длительность выполнения программы регулирования сравнивается с допустимым

значением периода дискретности для получения расчетных показателей качества в контуре регулирования.

**Abstract.** The article considers the principle of constructing a control system for a modern wind turbine with a variable speed of rotation of a wind wheel. An important role in the control system is played by the speed control circuit of the wind wheel. It is established that the wind wheel is a nonlinear object of regulation, this fact complicates the process of determining the parameters of the speed controller. The article proposes a variant of the mathematical model of the wind wheel, which allows determining the parameters of an adaptive discrete speed controller of the wind wheel during the operation of the wind turbine. The possibility of using a neural network to determine the nonlinear parameters of a wind wheel as an object of regulation is considered. The transfer function of the wind wheel speed controller in continuous and discrete form is obtained in the article. On the basis of a discrete transfer function, a difference equation is obtained, which is the basis of the control program. A control program has been developed for an industrial programmable logic controller in the STEP 7 programming language. The duration of the control program, which implements the function of an adaptive discrete speed controller based on an industrial programmable logic controller, has been established. The duration of the control program is compared with the allowable value of the discreteness period to obtain calculated quality indicators in the control loop.

**Ключевые слова:** ветроустановка, контур регулирования, дискретный регулятор, нейросеть, программа регулирования.

**Keywords:** wind turbine, control loop, discrete controller, neural network, control program.

В настоящее время наибольшее распространение получили ветроустановки с переменной скоростью вращения ветроколеса [1]. Изменение скорости вращения ветроколеса подразумевает применение преобразователей частоты.

Структурная схема такой ветроустановки, с выделением основных компонентов силовой части и системы регулирования, приведена на рисунке 1. Система регулирования ветроустановки, изображенная на рисунке 1, позволяет контролировать четыре основных параметра.

В данной работе основное внимание уделяется той части системы регулирования, которая связана с активным выпрямителем и обеспечивает регулирование активной мощности генератора и скорости вращения ветроколеса за счет наличия двух соответствующих контуров. Структурная схема такой двухконтурной системы регулирования [2] приведена на рисунке 2.

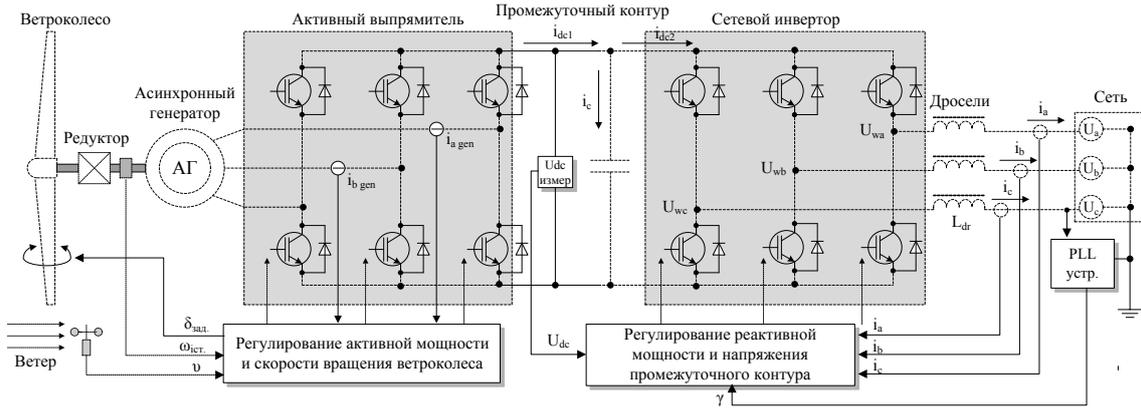


Рисунок 1. Структурная схема силовой части и системы регулирования ветроустановки с переменной скоростью вращения ветроколеса

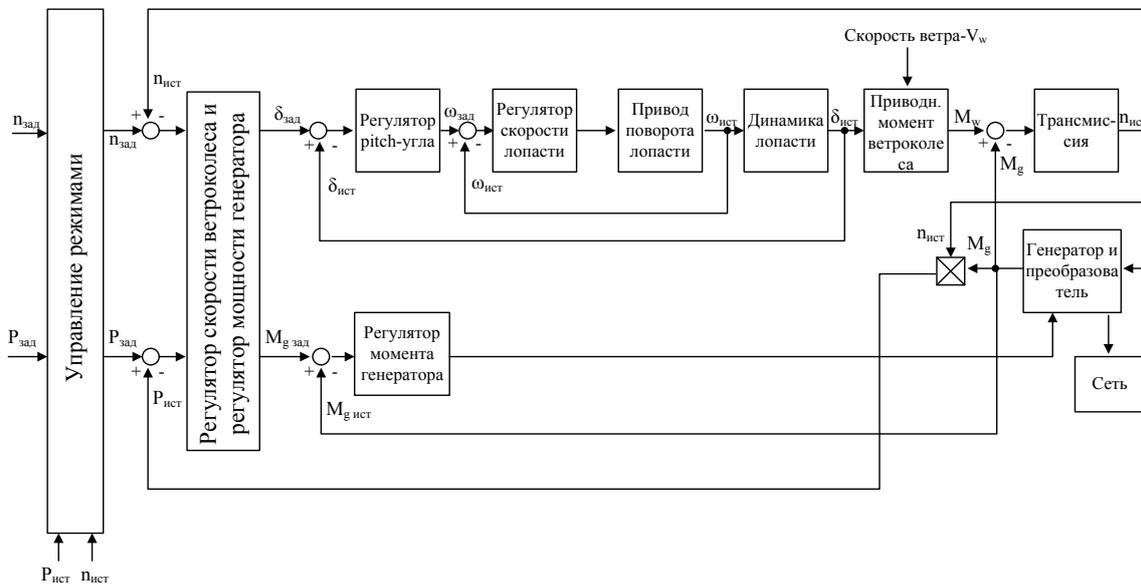


Рисунок 2. Структурная схема двухконтурной системы регулирования ветроустановки

В режиме полной нагрузки генератора, когда основной задачей является поддержание стабильной номинальной мощности генератора в условиях колебаний скорости ветра, функционируют оба контура регулирования. В этом режиме регулятору скорости приходится взаимодействовать с нелинейным объектом, т.е. ветроколесом.

Ветроколесо формирует приводной момент  $M_w$  за счёт притекания ветрового потока к его лопастям. Структурная схема притекания ветрового потока к фрагменту лопасти и формирование аэродинамических сил  $\Delta A$  и  $\Delta W$  показано на рисунке 3.

На схеме приведены следующие обозначения:

$\beta$  – угол притекания, это угол между плоскостью вращения ветроколеса и направлением ветрового потока,

$\alpha$  – угол атаки, угол между направлением ветрового потока и хордой лопасти,

$\delta$  – установочный угол, это угол между плоскостью вращения ветроколеса и хордой лопасти,

$a$  – коэффициент торможения ветрового потока в направлении ветра.

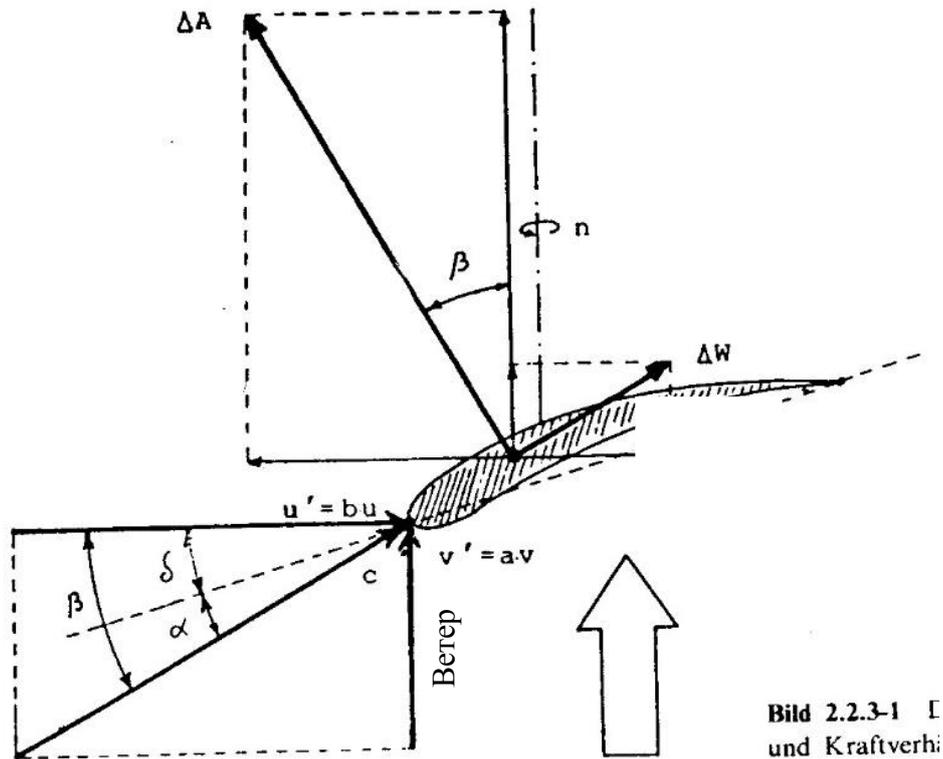


Рисунок 3. Структурная схема притекания ветрового потока к фрагменту лопасти ветроколеса.

Под действием аэродинамических сил формируется приводной момент ветроколеса -  $M_w$  [3], в соответствии с формулой

$$M_w = \frac{c_{pw}(\lambda, \delta)}{\omega_g} \cdot \frac{\pi \cdot \rho}{8} \cdot D^2 \cdot v^3 = \frac{0,49 \cdot c_{pw}(\lambda, \delta) \cdot D^2 \cdot v^3}{\omega_g}, \quad (1)$$

где,  $c_{pw}$  – коэффициент мощности ветроколеса,  
 $\lambda$  – быстроходность ветроколеса,  
 $\delta$  – установочный угол лопасти,  
 $D$  – диаметр ветроколеса,  
 $v$  – скорость ветра,  
 $\omega_g$  – скорость вращения генератора,  
 $\rho$  – плотность воздуха (для стандартных условий  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ ).

Наибольшую сложность при вычислении момента ветроколеса вызывает определение коэффициента мощности –  $c_{pw}$ , который зависит от быстроходности  $\lambda$  и установочного угла лопасти  $\delta$ .

Методика расчета коэффициента мощности ветроколеса на основании его исходных параметров (расчетная быстроходность –  $\lambda_d$ , число лопастей –  $z$  и диаметр –  $D$ , аэродинамические параметры профиля лопасти) приводится в [8].

На основании этой методики можно организовать два цикла, при этом во внутреннем цикле происходит изменение угла атаки в диапазоне от  $-4^\circ$  до  $+18^\circ$  с шагом  $1^\circ$ , а во внешнем цикле изменяется pitch-угол в диапазоне от  $0^\circ$  до  $+40^\circ$  с шагом  $1^\circ$ . В данном случае pitch-угол представляет собой отклонение установочного угла лопасти –  $\delta$  от оптимального положения, см. рисунок 3. Расчет производился на основании

аэродинамических параметров профиля лопасти NASA 4412. В результате расчета был получен набор точек, который позволяет построить трехмерную фигуру зависимости коэффициента ветроколеса –  $c_{pw}$  от быстроходности –  $\lambda$  и pitch-угла –  $\Delta\delta$ . Такая фигура, построенная при помощи программного пакета Matlab, приведена на рисунке 4.

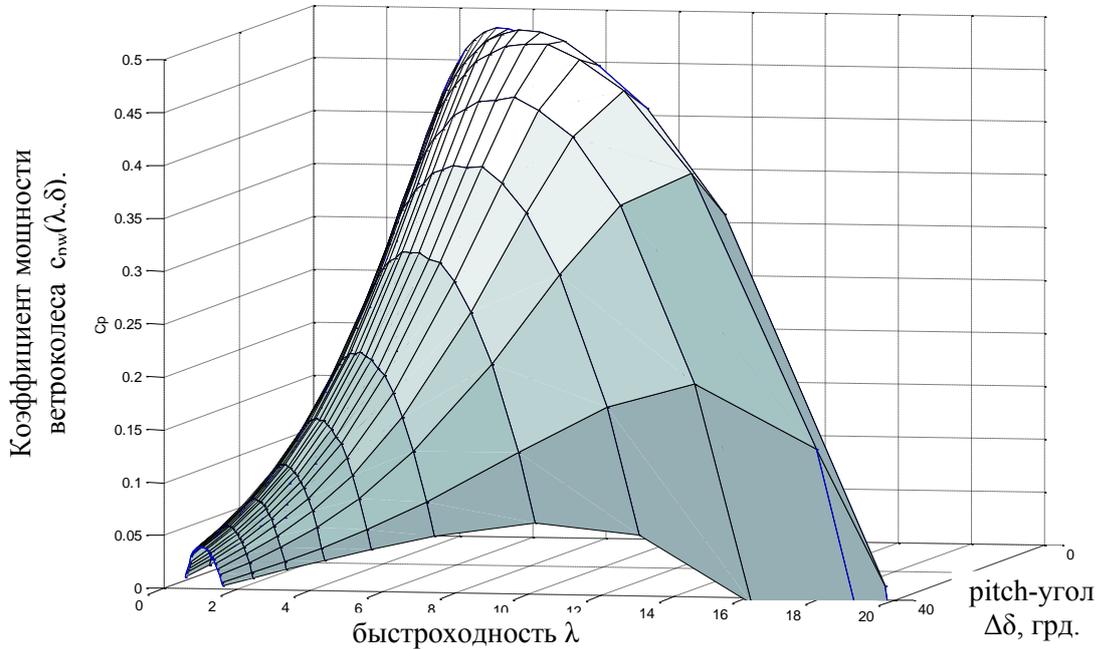


Рисунок 4. Расчетная зависимость коэффициента мощности ветроколеса  $c_{pw}$  от быстроходности  $\lambda$  и pitch-угла  $\Delta\delta$

Поскольку при использовании расчетной методики, приведенной в [8], затруднительно получить аналитическую зависимость коэффициента мощности ветроколеса от быстроходности и pitch-угла лопасти, поэтому зависимость, приведенная на рисунке 4, представляет собой набор точек.

Таким образом, для определения коэффициента мощности ветроколеса –  $c_{pw}(\lambda, \delta)$ , а так же для оценки производной  $dc_{pw}/d\delta$  целесообразно использовать нейросеть, с помощью которой можно воспроизвести показанную на рисунке 4 нелинейную зависимость. структура предложенной нейросети приведена на рисунке 5.

Приведенная нейросеть состоит из трех слоев. Первый слой содержит пять нейронов с функцией тангенс гиперболический, второй слой – три нейрона с такой же функцией, третий слой содержит один линейный нейрон.

Таким образом, выходные значения нейронов первого и второго слоёв [6] рассчитываются согласно формулам

$$y = f(u) = th(u) = \frac{e^u - e^{-u}}{e^u + e^{-u}} \quad (2)$$

$$u_i(k) = \sum_{j=1}^N x_j(k) \cdot w_{ij}(k) + b \quad (3)$$

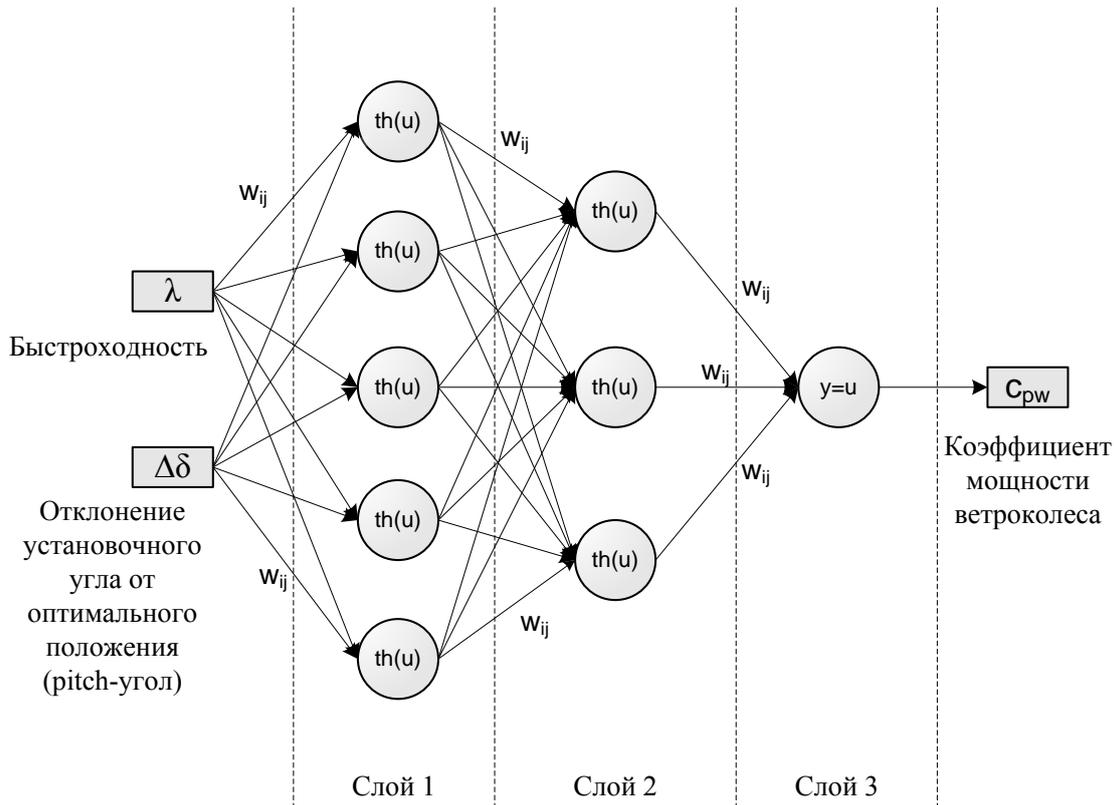


Рисунок 5. Структура нейросети, формирующей зависимость  $c_{pw}(\lambda, \delta)$

Приведенная структура была создана и минимизирована экспериментальным путем с использованием программного пакета Matlab. Для получения значений весовых коэффициентов проводился процесс тренировки нейросети, при котором в программном пакете MATLAB методом Левенберга-Маркварта находились такие значения весовых коэффициентов  $w_{ij}$ , которые позволяют воспроизвести нелинейную зависимость  $c_{pw}(\lambda, \delta)$  со значением ошибки, не превышающим  $3,0 \cdot 10^{-5}$ .

Таким образом, приведенная на рисунке 5 нейросеть, позволяет при любых значениях быстроходности  $\lambda = (\omega_w \cdot R) / v$  ( $\omega_w$  и  $R$  – скорость и радиус ветроколеса) и pitch-угла  $\Delta\delta$  получить необходимое значение коэффициента мощности ветроколеса –  $c_{pw}$ . С учетом вышесказанного и формулы (1), структурная схема формирования момента ветроколеса будет иметь вид, изображенный на рисунке 6.

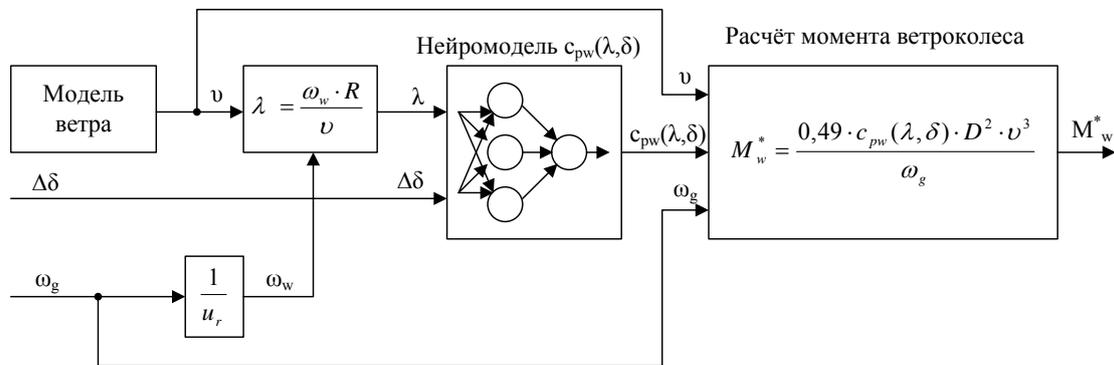


Рисунок 6. Структурная схема формирования момента ветроколеса

На основании структурной схемы формирования момента ветроколеса, контур регулирования скорости вращения ветроколеса, показанный в верхней части двухконтурной системы регулирования ветроустановки на рисунке 2, будет иметь вид, приведенный на рисунке 7.

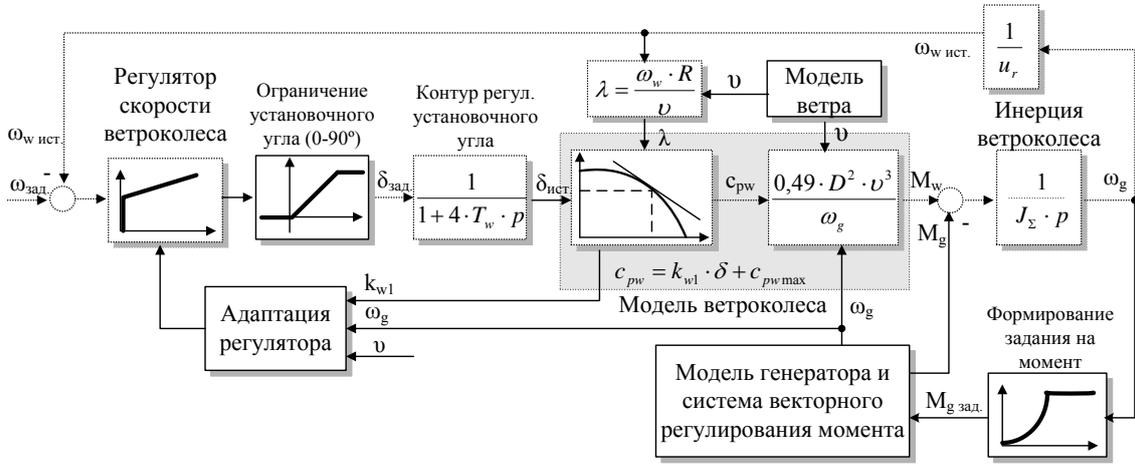


Рисунок 7. Структурная схема контура регулирования скорости вращения ветроколеса

Пропорционально-интегральный регулятор скорости, на основании сигнала ошибки по скорости, рассчитывает значение выходного управляющего сигнала в виде задания на pitch-угол –  $\delta_{зад}$ . Позиционный привод поворота лопасти обрабатывает полученное задание и с некоторой задержкой, обусловленной инерцией контура скорости –  $4 \cdot T_w$ , поворачивает лопасть на заданный угол. Ветроколесо на основании реального значения pitch-угла –  $\delta_{уст}$ , значений быстроходности –  $\lambda$  и скорости ветра –  $v$  формирует приводной момент –  $M_w$  в соответствии со структурной схемой на рисунке 6.

Согласно рисунку 7, результирующий коэффициент передачи –  $k_{ws}$ , который связывает реальное значение pitch-угла –  $\delta_{уст}$  и приводной момент ветроколеса –  $M_w$ , определяется по следующей формуле

$$k_{ws} = 0,49 \cdot D^2 \cdot \frac{v^3}{\omega_g} \cdot k_{w1}, \quad (4)$$

где  $k_{w1} = dc_{pw}/d\delta$  – это переменное значение производной коэффициента мощности ветроколеса –  $c_{pw}$  по pitch-углу  $\delta$ .

Наличие переменного параметра  $k_{w1}$  в контуре регулирования означает присутствие нелинейности, которая должна учитываться при расчете параметров регулятора скорости вращения ветроколеса.

Для контура, изображенного на рис. 7 целесообразно выбрать ПИ-регулятор скорости с адаптацией к изменениям параметров объекта регулирования. Непрерывная передаточная функция ПИ-регулятора скорости вращения ветроколеса соответствует формуле

$$G_{wR}(p) = \frac{T_{wR} \cdot p + 1}{T_{w0} \cdot p} \quad (5)$$

Регулятор скорости ветроколеса следует настраивать из соображений минимизации влияния возмущающего сигнала, которым является куб скорости ветра, см. рисунке 7. Для определения коэффициентов регулятора, представим передаточную функцию контура регулирования скорости ветроколеса по отношению к возмущающему воздействию

$$G_v(p) = \frac{T_{w0} \cdot p \cdot (T_{ws} \cdot p + 1)}{J_{\Sigma} \cdot T_{w0} \cdot T_{ws} \cdot p^3 + J_{\Sigma} \cdot T_{w0} \cdot p^2 + T_{wR} \cdot k_{ws} \cdot p + k_{ws}}, \quad (6)$$

где  $T_{ws}=4 \cdot T_w=60$ мс – постоянная времени в объекте регулирования, обусловленная инерционностью позиционного электропривода,  
 $J_{\Sigma}$  – суммарный момент инерции ветроколеса и генератора.

Согласно принципу модульного оптимума, получим значение коэффициентов регулятора скорости –  $T_{wR}$  и  $T_{w0}$

$$T_{wR} = 4,25 \cdot T_{ws}, \quad T_{w0} = \frac{8,5 \cdot T_{ws}^2 \cdot k_{ws}}{J_{\Sigma}}, \quad (7)$$

Дискретная форма ПИ-регулятора скорости ветроколеса имеет вид

$$G_{wR}(z) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (8)$$

Из формулы (8) может быть получено разностное уравнение, которое используется для реализации дискретного ПИ-регулятора в микропроцессорной системе регулирования

$$\delta_{зад}[k] = \delta_{зад}[k-1] + b_0 \cdot \Delta\omega_w[k] + b_1 \cdot \Delta\omega_w[k-1] \quad (9)$$

где  $\Delta\omega_w$  – ошибка регулирования скорости вращения ветроколеса,  
 $\delta_{зад}$  – выходной сигнал регулятора (заданный pitch-угол) на указанном шаге регулирования.

При этом значение коэффициентов разностного уравнения регулятора можно определить по следующим формулам

$$b_0 = \frac{J_{\Sigma}}{0,98 \cdot T_{ws} \cdot D^2} \cdot \left(1 + \frac{T}{8,5 \cdot T_{ws}}\right) \cdot \frac{\omega_g}{v^3 \cdot k_{w1}} \quad (10)$$

$$b_1 = -\frac{J_{\Sigma}}{0,98 \cdot T_{ws} \cdot D^2} \cdot \left(1 - \frac{T}{8,5 \cdot T_{ws}}\right) \cdot \frac{\omega_g}{v^3 \cdot k_{w1}} \quad (11)$$

где  $T$  – период дискретности при работе регулятора.

Структурная схема дискретного регулятора скорости вращения ветроколеса приведена на рисунке 8.

Схема показывает, что значения коэффициентов разностного уравнения –  $b_0$  и  $b_1$  будут постоянно корректироваться в зависимости от значения скорости ветра, скорости генератора и нелинейного коэффициента  $k_{wl}$ .

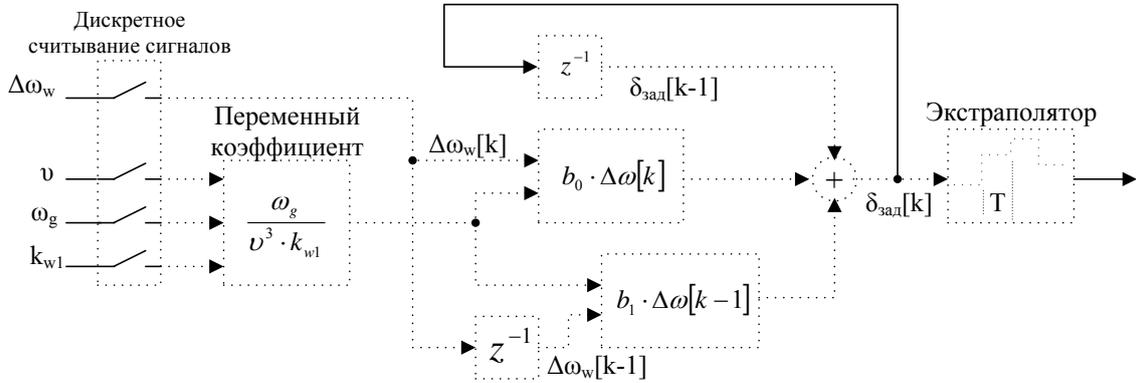


Рисунок 8. Структурная схема дискретного регулятора скорости ветроколеса

И если для определения скорости ветра и скорости генератора можно воспользоваться соответствующими датчиками, то переменный коэффициент  $k_{wl}$  можно определять, пользуясь нейро-моделью зависимости коэффициента мощности ветроколеса –  $c_{pw}$  от быстроходности и pitch-угла, см. рисунок. 5. Процесс определения  $k_{wl}$ , можно показать в виде структурной схемы, приведенной на рисунке 9. При этом определение переменного коэффициента  $k_{wl}$  происходит путем замены дифференциалов на малые приращения –  $\Delta\delta$  и  $\Delta c_{pw}$  без существенной потери точности.

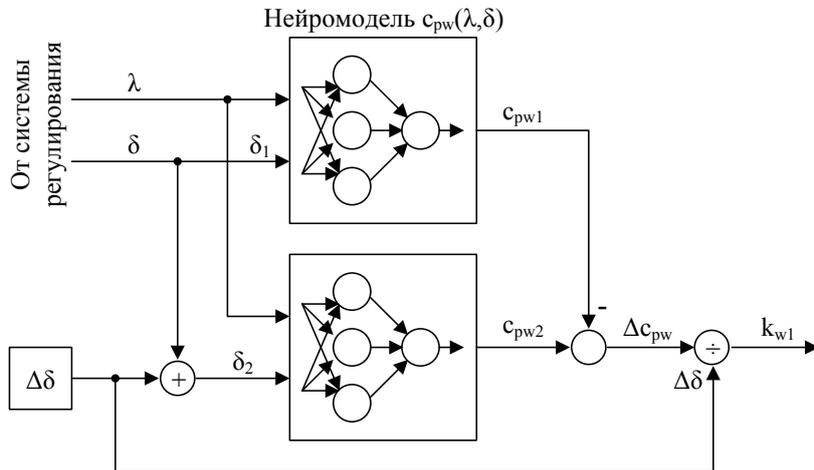


Рисунок 9. Структурная схема для определения переменного коэффициента  $k_{wl}$

В приведенной структурной схеме двукратно используется нейро-модель, показанная на рисунке 5 с разными значениями второго входного параметра  $\delta$  (pitch-угол).

Для реализации предложенного адаптивного дискретного регулятора скорости вращения ветроколеса целесообразно оценить, какое время потребуется микропроцессорному контроллеру в реальной системе регулирования для реализации

программы регулирования с учетом необходимости адаптации и применения предложенной нейросети. Пример программы реализации дискретного ПИ-регулятора, реализованный на языке программирования STEP 7 [4] для программируемого логического контроллера серии SIMATIC S7-300 приведен на рисунке 10.

L	#sollwert		L	#ek_1	
L	#ist2		L	#b1	Определение третьего
-R		Расчет ошибки	*R		слагаемого разностного
T	#ek	регулирования – ек.	T	#t3	уравнения – t3.
L	#yk_1	Определение первого	L	#t2	
L	#a1	слагаемого разностного	+R		Определение выходного
*R		уравнения – t1.	L	#t1	сигнала регулятора – yk_1
T	#t1		+R		
L	#ek	Определение второго	T	#yk_1	
L	#b0	слагаемого разностного	L	#ek	Пересохранение ошибки
*R		уравнения – t2.	T	#ek_1	регулиров. – ек.
T	#t2				

Рисунок 10. Пример программы реализации дискретного ПИ-регулятора на языке программирования STEP 7

Программа регулятора соответствует разностному уравнению (9).

Программа содержит 17 команд загрузки и пересылки данных (L и T) на каждую из которых процессорный модуль контроллера CPU-314C 2DP затрачивает 2 мкс, и 6 арифметических команд для чисел с плавающей запятой, на каждую из которых процессорный модуль контроллера затрачивает около 6 мкс.

Таким образом, для выполнения программы ПИ-регулятора указанный процессорный модуль затратит 70 мкс.

Однако, как показывают формулы (10) и (11), для расчета коэффициентов  $b_0$  и  $b_1$  разностного уравнения нужно постоянно рассчитывать переменный коэффициент  $k_{w1}$ , что подразумевает двукратное использование предложенной нейросети, см. рисунок 9.

При этом количество вычислительных операций с плавающей запятой –  $m$ , необходимых для вычисления выходного значения нейросети, см. рисунок 5, с использованием выражений (2) и (3), определяется по формуле

$$m = 10 \cdot n_{ex} \cdot n_{N1} + 10 \cdot n_{N1} \cdot n_{N2} + 2 \cdot n_{N2} \cdot n_{N3}, \quad (12)$$

где  $n_{ex}=2$  – кол-во входных параметров нейросети,

$n_{N1}=5$  – число нейронов первого слоя,

$n_{N2}=3$  – число нейронов второго слоя,

$n_{N3}=1$  – число нейронов третьего слоя.

При подстановке приведенных численных значений в формулу (12) и учете того, что одна вычислительная операция с плавающей запятой занимает около 6 мкс и требуется двукратный расчет выходного значения нейросети, получим время, затрачиваемое процессором на расчет переменного коэффициента  $k_{w1} - t_{расчет} = 3072$  мкс.

Добавив к этому времени время выполнения программы ПИ-регулятора (70 мкс) и увеличив суммарное значение на 5% для учета дополнительных и вспомогательных команд, получим суммарное время выполнения программы регулирования с учетом адаптации регулятора  $t_{прогр.рег.} = 3,3$  мс. Т.е. процессору потребуется 3,3 миллисекунды для

реализации программы регулирования в случае использования процессорного модуля со средним быстродействием - CPU-314C 2DP серии контроллеров SIMATIC S7-300.

### Выводы

В работе показаны особенности контура регулирования скорости вращения ветроколеса, а также показана необходимость применения адаптивного ПИ-регулятора по причине изменения параметров объекта регулирования.

Также определено суммарное время выполнения программы регулирования с использованием нейросети – 3,3 мс, что существенно меньше (более чем в 10 раз) малой постоянной времени объекта регулирования –  $T_{ws}=60$  мс.

Таким образом, применение предложенного регулятора не нарушает основного правила для дискретных систем регулирования, согласно которому для получения качественного процесса регулирования период дискретности системы должен быть как минимум в десять раз меньше, чем малая постоянная времени объекта регулирования.

### Литература

1. Munteanu I. Optimal Control of Wind Energy System/ Munteanu I., Bratcu A., Cutululis N., Ceanga E. – London: Springer-Verlag, 2008. – P. 29-30.
2. Heier S. Windkraftanlagen, Systemauslegung, Netzintegration und Regelung/Heier S. – Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009. – P. 182.
3. Burton T. Wind Energy Handbook/Burton T., Jenkins N., Sharpe D., Bossanyi E. – West Sussex: Wiley, 2011. – P. 59-65.
4. Бергер Г. Автоматизация на STEP 7 в LAD и FBD-формах: SIMATIC S7-300/400 программируемые контроллеры/Бергер Г. – Эрланген: Publicis Publishing, 2012. – P. 272.
5. Беклемишев Д.Н. Микропроцессорные средства и системы/Беклемишев Д.Н., Орлов А.Н., Переверзев А.Л., Попов М.Г., Горячев А.В., Кононова А.И. – Москва: МИЭТ, 2013. – 290 с.
6. Patan K. Robust and Fault-Tolerant Control Neural-Network-Based Solutions/Patan K. – Cham: Springer, 2019. – P. 11-13.
7. Черников В.Г. Стабилизация выходной мощности ветрогенераторных установок с асинхронным генератором средствами системы регулирования//Сборник научных трудов ДонНТУ, серия «Электротехника и энергетика» №2/2013 – Донецк: ДонНТУ, 2013, – С. 265-272.
8. Черников В.Г. Оценка энергоэффективности работы ветроустановки в режиме максимальной мощности с использованием спектральной модели ветра Ван дер Ховена//Журнал Кременчугского национального университета «Електромеханічні і енергозберігаючі системи» №2/2014 – Кременчуг: 2014, – С. 89-96.

УДК 004.89

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ DEDUCTOR  
ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА****USING THE DEDUCTOR ANALYTICAL PLATFORM  
FOR THE INTELLIGENT ANALYSIS**

<sup>1</sup>Андреев П.О., <sup>1</sup>Ткаченко А.Л., <sup>1</sup>Виноградская М.Ю., <sup>2</sup>Федорова В.А.,  
<sup>1</sup>Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,  
г. Калуга, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва, Российская Федерация

P.O. Andreev<sup>1</sup>, A.L. Tkachenko<sup>1</sup>, M.Yu. Vinogradskaya<sup>1</sup>, V.A. Fedorova<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky,  
Kaluga, Russian Federation  
<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

e-mail: andreyevpo@studklg.ru

**Аннотация.** Востребованность и растущий интерес к программным продуктам становятся отправной точкой для совершенствования бизнес аналитики, потому что основным содержанием этого процесса является анализ большого количества данных, а программный продукт позволяет автоматизировать этот процесс. Инструментами бизнес-аналитики являются аналитические системы, позволяющие обработать, структурировать и предоставить исходную информацию таким образом, чтобы она была удобна для оперирования в принятии управленческих решений, ведь без качественной бизнес-аналитики сегодня практически невозможно обойтись. В данной статье рассматривается анализ статистических данных с помощью аналитической платформы Deductor Studio. Имея исходный набор данных по префиксам различных документов, необходимо привести их к удобному для пользователя виду и исключить объекты, используемые наименее часто. Для решения поставленной задачи использовалась программа Deductor Studio. Исходные данные были отформатированы, отфильтрованы и отсортированы, благодаря чему, приведены к компактному и удобному виду. Такой инструментарий позволяет исключать ненужные данные или уменьшить количество рассматриваемых объектов при большом объеме рассматриваемой выборки, что приведёт к компактной таблице, содержащей только требуемые для пользователя данные из всех исходных, благодаря чему будет проще оперировать только нужными данными.

**Abstract.** The demand and growing interest in software products become the starting point for improving business analytics, because the main content of this process is the analysis of a large amount of data, and the software product allows you to automate this process. Business analytics tools are analytical systems that allow you to process, structure and provide the source information in such a way that it is convenient for operating in making management decisions, because it is almost impossible to do without high-quality business analytics today. The article analyzes just such tools from the field of business analytics. For the analysis, the software products of one developer – Loginom Company LLC “Analytical Technologies” (formerly BaseGroup Labs) were taken. The software developer is a Russian company, which

is important at the present time, when the issue of switching to domestic software products is particularly acute, due to possible sanctions and information security. The possibilities of Data Mining, Big Data, Data Warehousing, OLAP, Business Intelligence, Scoring, Forecasting, Data Quality, Machine Learning, ETL analysis technologies within a single platform are considered. The characteristics and the present functionality are compared. Conclusions are formed based on the comparison. Both software products can be downloaded for free for reference and training purposes.

**Ключевые слова:** бизнес аналитика, анализ данных, статистический анализ, электронный документооборот, Deductor Studio.

**Keywords:** business analytics, data analysis, statistical analysis, electronic document management, Deductor Studio.

Основным содержанием бизнес аналитики является сбор и анализ большого количества данных, что помогает принимать более эффективные управленческие решения. На текущий момент на рынке представлен большой ряд программных продуктов, имеющих схожий между собой функционал. Deductor Studio – аналитическая платформа, замечательно подходящая для решения возникающих аналитических проблем. Программа позволяет произвести изучение, сортировку, замену и фильтрацию данных, построить прогнозируемый в будущем исход, также обладая множеством других полезных функций [1-9].

Рассмотрим данные, полученные у предприятия АО «Астрал» в которых представлены показатели статистических данных по трафику электронного документооборота, собранные в период с 2019 по 2021 год. Произведем статистический анализ, взяв для него 14 наиболее часто используемых префиксов наименований счетов фактуры в вышеуказанные года. Статистика по использованию данных префиксов приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Статистика документооборота

КНД	Префикс	Всего 2019	В роуминге 2019	Всего 2020	В роуминге 2020	Всего 2021	В роуминге 2021
1115131	ON_NSCHFDOPPR	131481	72600	4253914	3273273	6902601	5575114
1115132	ON_NSCHFDOPPOK	69910	49327	2709964	2062617	5005624	4020111
1115125	ON_SCHFDOPPR	1197013	749498	24848	17394	2042	1266
1115126	ON_SCHFDOPPOK	617484	542917	33001	22049	2324	1709
1115127	ON_KORSCHFDOPPR	13523	7542	49168	36403	101555	65168
1115128	ON_KORSCHFDOPPOK	7849	7203	28662	20015	73319	48246
1115133	ON_NKORSCHFDOPPR	0	0	2072	123	16013	4291
1115134	ON_NKORSCHFDOPPOK	0	0	155	6	7221	1709
1175012	DP_REZRUISP	312985	150098	689350	448883	803181	601371
1175013	DP_REZRUIZAK	223755	196138	521513	352874	631289	481099
1175010	DP_TOVTOORGPR	130611	62987	247954	163664	334626	241169
1175011	DP_TOVTOORGPOK	100878	90797	187228	122113	251932	179689
1175014	DP_PRIIRASXPRIIN	3	0	321	83	797	585
1175015	DP_PRIIRASXSVED	0	0	0	0	0	0

Данные, представленные в таблице 1, дают возможность просмотреть, оценить и проанализировать статистику использования различных префиксов благодаря их импорту в Deductor Studio.

Также были выведены графики, наглядно показывающие количество использованных префиксов в конкретные года.

Каждому типу документации соответствует две колонки, левая из которых – весь документооборот по данному префиксу, а правая – внешний документооборот.

Графики за 2019-2021 года приведены на рисунках 1, 2, 3.

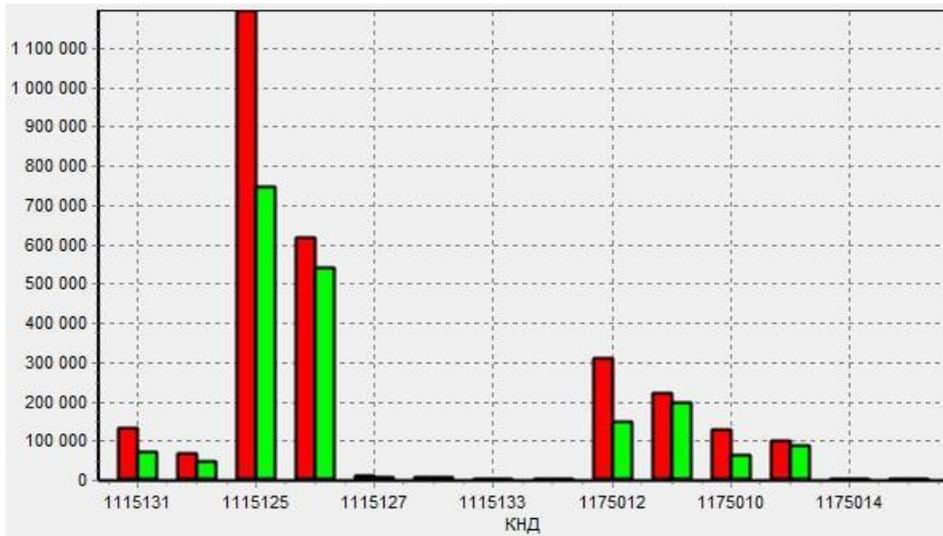


Рисунок 1. График электронного документооборота АО «Астрал» за 2019 г.

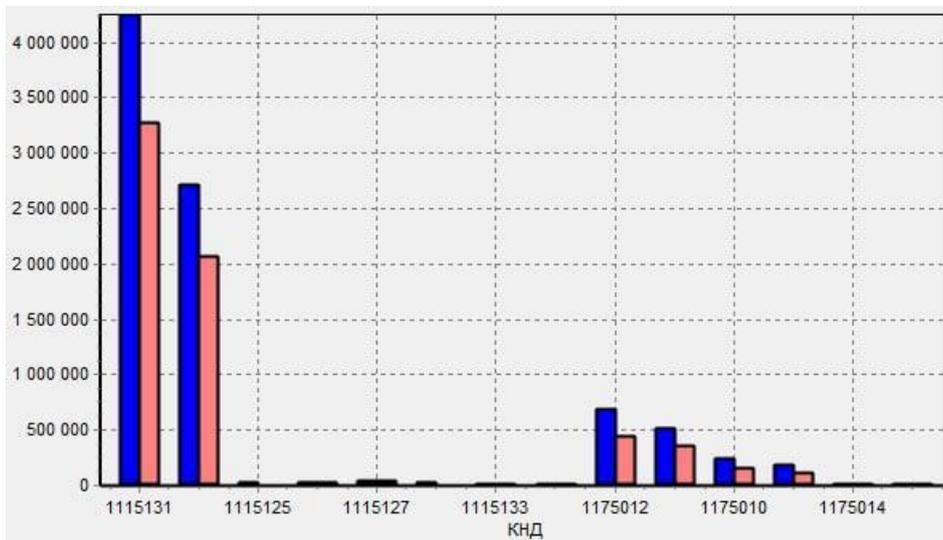


Рисунок 2. График электронного документооборота АО «Астрал» за 2020 г.

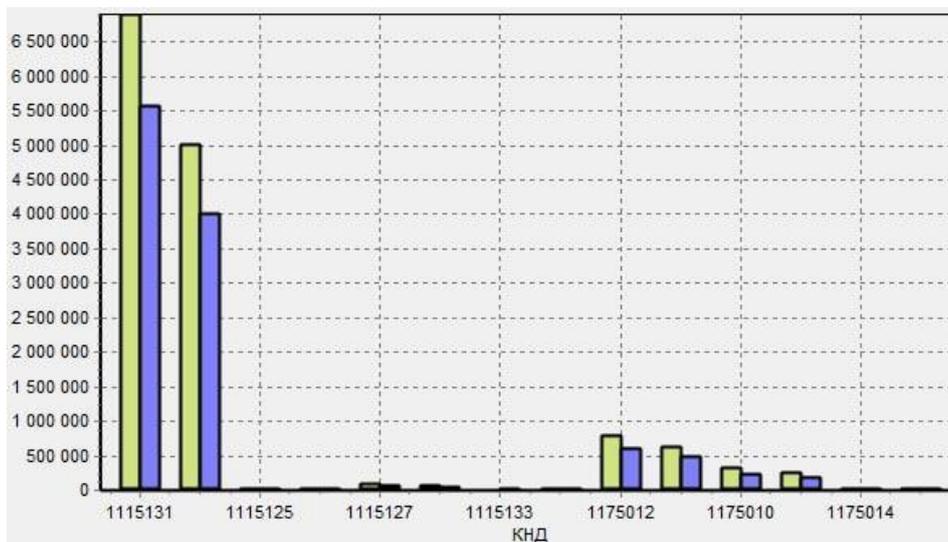


Рисунок 3. График электронного документооборота АО «Астрал» за 2021 г.

Благодаря произведенной фильтрации данных, была произведена сортировка документации за различные года, в результате которой в каждый год были выделены три наиболее часто используемых типа документации. Остальные значения были убраны из выборки. Изменённые графики представлены на рисунках 4, 5, 6.

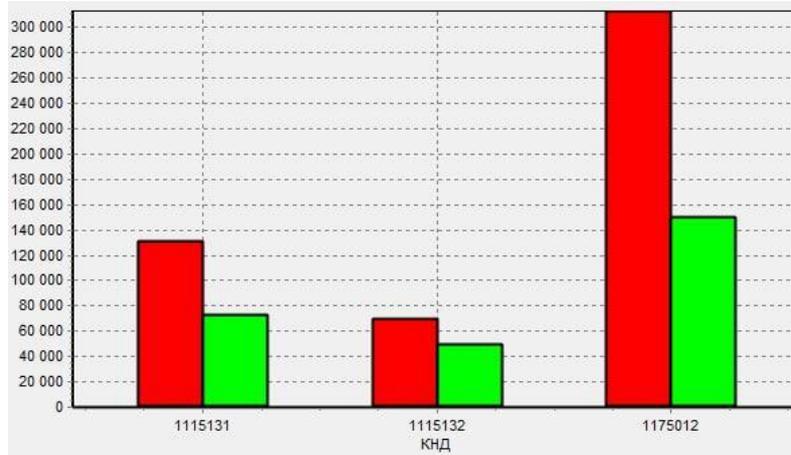


Рисунок 4. График наиболее популярных префиксов электронного документооборота АО «Астрал» за 2019 г.

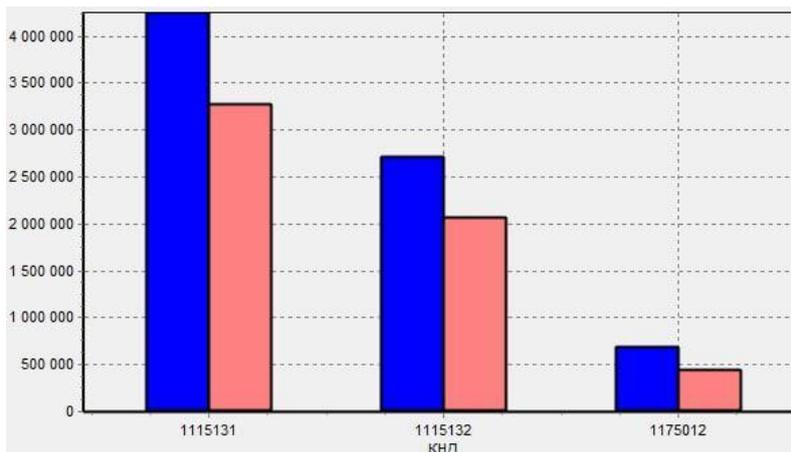


Рисунок 5. График наиболее популярных префиксов электронного документооборота АО «Астрал» за 2020 г.

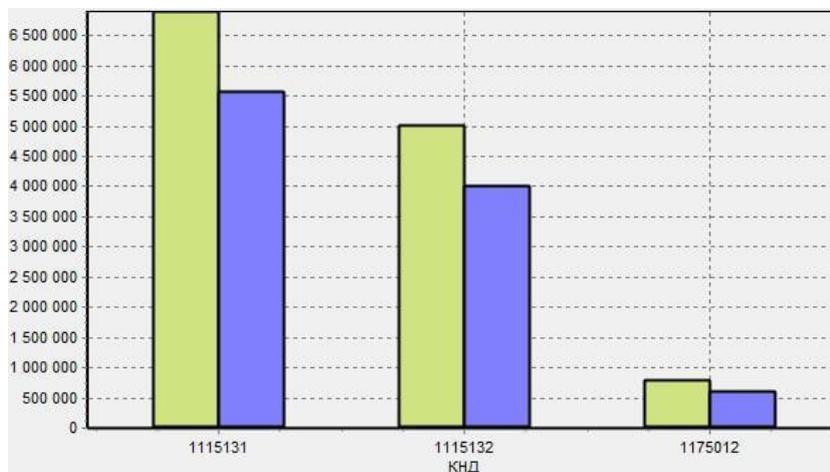


Рисунок 6. График наиболее популярных префиксов электронного документооборота АО «Астрал» за 2022 г.

Таким образом, благодаря Deductor Studio, набор исходных данных, представленных на таблице, был проработан, отсортирован и доведён до того вида, который может быть необходим.

Отфильтрованные до удобного для эксплуатации вида данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Доработанная таблица с исключенными данными по статистике

КНД	Префикс	Всего 2019	В роуминге 2019	Всего 2020	В роуминге 2020	Всего 2021	В роуминге 2021
1115131	DN_NSCHFDOPPR	131481	72600	4253914	3273273	6902601	5575114
1115132	DN_NSCHFDOPPOK	69910	49327	2709964	2062617	5005624	4020111
1175012	DP_REZRUISP	312985	150098	689350	448883	803181	601371

## Выводы

Такой инструментарий позволяет исключать ненужные данные или уменьшить количество рассматриваемых объектов при большом объеме рассматриваемой выборки, что приведёт к компактной таблице, содержащей только требуемые для пользователя данные из всех исходных, благодаря чему будет проще оперировать только нужными данными.

Deductor Studio позволяет работать с данными, форматировать и анализировать их как требуется пользователю, что придаёт данной аналитической платформе высокий уровень значимости и востребованности по сравнению с подобными разработками.

## Литература

1. Ильичев М.В., Мезенцева Е.М. Теория и практика современной науки – 2020. – № 1 (31). – С. 247-248.
2. Ткаченко, А.Л. Анализ и рекомендации по выбору аналитической платформы/А.Л. Ткаченко, И.А. Лыгин, В.И. Кузнецова//Заметки ученого. – 2021. – № 7-1. – С. 51-54.
3. Брезгунова И.В. Технологии документооборота. – Мн.: 2018, 208 с.
4. Кондрашова, Н.Г. 4.1. Риск-ориентированный внутренний контроль: практическая реализация/Н.Г. Кондрашова//Аудит и финансовый анализ. – 2019. – № 2. – С. 60-64.
5. Ткаченко, А.Л. Имитационное моделирование распространения кибератак на промышленные предприятия/А.Л. Ткаченко, А.Ю. Гордеева, А.В. Шавренко//Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: Сборник научных статей по итогам IV международной научной конференции, Волгоград, 22-23 апреля 2021 года. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «КОНВЕРТ», 2021. – С. 238-240.
6. Ахромов, Я.В. Системы электронного документооборота/Я.В. Ахромов. – 2018. М.: Оникс, 2007. – 416 с. – ISBN 978-5-488-00970-7.
7. Испирян, Р.А. Принятие управленческих решений посредством системы технического диагностирования/Р.А. Испирян, А.Л. Ткаченко//Развитие управленческих и информационных технологий, их роль в региональной экономике: материалы II Международной открытой научно-практической конференции, Калуга, 21-22 апреля 2016 года/Под редакцией: Пироговой Т.Э., Швецовоу С.Т., Орловцевоу О.М. – Калуга: ООО «ТПП», 2016. – С. 95-102.
8. Development of a simulation model for the spread of COVID-19 coronavirus infection in Kaluga region/A. Tkachenko, D. Lavrentev, M. Denisenko, V. Kuznetsova // E3S

Web of Conferences, Almaty, 20-21 мая 2021 года. – Almaty, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202127001003.

9. Ткаченко, А.Л. Использование программы anylodgic для анализа потребительского рынка игры Genshin impact и построение прогноза/А.Л. Ткаченко, О.И. Ольшанская, О.Н. Арышева//Информационные технологии. Проблемы и решения. – 2021. – № 4(17). – С. 46-51.

УДК 004.827

**ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ РАБОТ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ  
ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**DECISION MAKING SUPPORT  
ON THE QUALITY MANAGEMENT OF THE WORKS OF PROJECT  
ORGANIZATION EXECUTORS**

Сильнова С.В., Карамзина А.Г.,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,  
г. Уфа, Российская Федерация

S.V. Silnova, A.G. Karamzina,  
FSBEI HE “Ufa state aviation technical university”,  
Ufa, Russian Federation

e-mail: silnova.sv@ugatu.su

**Аннотация.** Человеческие ресурсы представляют собой основу успешного функционирования любой организации, независимо от организационно-правовой формы собственности и подчинения. В работе основное внимание уделено решению актуального вопроса поддержки принятия управленческих решений по мотивации исполнителей с целью повышения качества выполняемых ими работ. Представлены результаты решения задачи повышения эффективности управления качеством работ исполнителей проектной организации с помощью нечеткой системы поддержки принятия решений по формированию управленческих рекомендаций для мотивации исполнителей работ. С целью оценки качества работ исполнителей сформированы показатели качества, в соответствии с которыми на основе методов интеллектуального анализа данных, а именно методов главных компонент и кластерного анализа, выделены кластеры исполнителей. На основе значений границ кластеров сформированы термножества нечетких моделей, которые представлены в виде нечетких шкал рассматриваемых показателей качества работ исполнителей. Предложены нечеткие алгоритмы формирования комплексной оценки качества работ исполнителей проектной организации для реализации мероприятий по повышению качества работ. Для расчета комплексной оценки в среде *MATLAB* разработано программное обеспечение, приведен пример расчета по данным конкретного исполнителя. Рассчитанные значения комплексных оценок исполнителей являются основой для их ранжирования и в дальнейшем могут быть использованы руководством проектной организации при принятии решения о повышении мотивации исполнителей работ.

**Abstract.** Human resources are the basis for the successful functioning of any organization. The paper focuses on solving the topical issue of supporting managerial decision making on the motivation of executors in order to improve the quality of their work. The results of solving the problem of improving the efficiency of quality management of the work of the executors of the design organization using a fuzzy decision making support system for the formation of management recommendations to motivate the executors are presented. In order to assess the quality of the work of executors, quality indicators were formed, in accordance with which, based on the methods of data mining, namely the methods of principal components and cluster analysis, clusters of executors were identified. Based on the values of the boundaries of the clusters, term-sets of fuzzy models are formed, which are presented in the form of fuzzy scales of the considered indicators of the quality of the work of the executors. Fuzzy algorithms for the forming of a comprehensive assessment of the quality of the work of the executors of the design organization for the implementation of measures to improve the quality of work are proposed. To calculate a comprehensive assessment in the MATLAB, software has been developed, an example of calculation is given. The calculated values of the executors' comprehensive assessments are the basis for their ranking and can later be used by the management of the design organization when decision making to increase the motivation executors.

**Ключевые слова:** поддержка принятия решений, управление качеством, нечеткие шкалы, нечеткий вывод, комплексная оценка качества.

**Keywords:** decision making support, quality management, fuzzy scales, fuzzy conclusion, comprehensive quality assessment.

Основными факторами, определяющими успех организации на рынке, являются: компетентные и профессиональные сотрудники; современные технологии и инновации; сильные и надежные партнеры (поставщики, субподрядчики и т.д.); эффективная маркетинговая деятельность; логистика и ее состояние и др.

Любая проектная организация, являющаяся динамично развивающейся компанией и стремящаяся к улучшению качества продукции [1] не только совершенствованием технологий и техники, особое внимание должна уделять повышению эффективности системы управления трудом, в частности, качеством работ исполнителей.

Комплекс взаимосвязанных между собой проблем кадрового характера присутствует во многих организациях. Актуальность проблем, связанных с персоналом, основана на том, что человеческие ресурсы – основа успешного функционирования организации [2]. Зачастую недостаточное внимание управлению качеством человеческих ресурсов является причиной серьезных экономических проблем организации. Организации, стремящиеся к улучшению качества выпускаемой продукции или предлагаемых услуг, должны быть обеспечены не только высокоэффективными технологиями и техникой, но и квалифицированными способными сотрудниками. Опыт успешных организаций показывает, что высокие результаты в условиях конкурентной среды достигается теми компаниями, которые ориентируются на перспективу инновационного управления трудом [3]. Ведущие корпорации предлагают своим работникам условия для непрерывного роста, расширения знаний и полномочий, повышения квалификации, а приоритет стабильности, жесткой организационной структуры уходит на второй план, формируются новые ценности и новые подходы к управлению персоналом.

Обычно в организациях мотивация сотрудников осуществляется по усмотрению непосредственного руководителя, которая часто выражается в начислении премии, размер которой определяется индивидуально так же руководителем. Такой способ поощрения влечет за собой необъективность: каждый руководитель подразделения при поощрении сотрудника ориентируется на собственные оценочные суждения, не исключается вариант того, что руководитель может отталкиваться не от фактов, а от личных отношений. Это определяет актуальность разработки системы поддержки принятия управленческих решений на основе показателей качества работ исполнителей.

Оценка значимости факторов, влияющих на качество продукции и работ проектной организации, показала, что качество в наибольшей степени зависит от исполнителей работ. В связи с этим было решено сформировать показатели качества работ исполнителей, на основе которых можно формировать управленческие решения по повышению качества работ: общий стаж работы(опыт), удовлетворенность сотрудника, удовлетворенность руководителя результатами сотрудника, исполнительность, аккуратность, удовлетворенность коллег, заработная плата и ежемесячная премия.

Совокупность значений показателей дает общее представление о качестве работ конкретного исполнителя. Однако для поддержки руководителя при назначении им мероприятий по поощрению сотрудников, необходимо формировать комплексную оценку качества работ исполнителя. Разнородность показателей и субъективность оценки некоторых из них предполагают использование нечетких моделей при формировании комплексной оценки.

Для того, чтобы определить границы термов при построении нечетких шкал, было решено сформировать кластеры по показателям качества работ исполнителей и спроецировать на шкалу границы кластеров. При этом для некоторых показателей проекции кластеров могут пересекаться, поэтому количество термов может не совпадать с количеством выявленных кластеров.

Для решения задачи кластеризации выбраны метод главных компонент и метод кластерного анализа. В качестве объектов анализа рассмотрены работники проектной организации (41 объект), а в качестве признаков, указанные выше показатели качества работ исполнителей (8 признаков).

Для выявления степени удовлетворенности работников их рабочим местом было проведено их анкетирование. Было предложено ответить на 12 вопросов, которые согласно исследованиям Маркуса Бакингема и Курта Коффмана, являются самым простым инструментом измерения достоинств рабочего места [4].

Степень удовлетворенности руководства результатами работников, их аккуратность, исполнительность были определены в ходе аттестации работников. Были оценены результаты деятельности работников, соответствие их деловых качеств и квалификации занимаемой должности, а также проверка соблюдения и знания стандартов организации.

Оценка качества работы коллегами оценивалась с помощью анонимного анкетирования. Работникам было предложено оценить своих коллег на предмет того, насколько им комфортно работать с тем или иным коллегой.

Анализ полученных данных проведен методами главных компонент и кластерного анализа [5, 6] в пакете прикладных программ *Statgraphics*, предназначенных для статистического анализа и визуализации данных.

Принадлежность объектов к кластерам по компонентному и кластерному методам представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление населенности кластеров, выделенных двумя методами

№ кластера	Компонентный анализ	Кластерный анализ
1	2, 5, 18, 19	2, 5, 18, 19
2	11, 13, 14, <b>15</b> , 24, 30, 31, 35, 36	<b>4</b> , 11, 13, 14, 24, 30, 31, 35, 36
3	3, 10, 12, 21, 22, 23, 27, 28, 32	<b>1</b> , 3, 10, 12, 21, 22, 23, 27, 28, 32
4	<b>1, 4</b> , 7, 8, 16, 17, 25, 29, 34	7, 8, <b>15</b> , 16, 17, 25, 29, 34
5	6, 9, 20, 26, 33	6, 9, 20, 26, 33

В таблице выделены объекты, перешедшие из кластера в другой (всего 3). Населенность кластеров при методе главных компонент и кластерном анализе практически идентичны.

Классические методы управления хорошо работают при полностью детерминированном объекте управления и детерминированной среде, а для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальными являются нечеткие методы управления. Разработка и применение системы нечеткого вывода включает в себя ряд этапов, реализация которых рассмотрена в работе.

Система поддержки принятия решений по формированию комплексной оценки качества работ исполнителей при управлении проектной организацией предполагает формирование двухуровневой иерархии показателей. Совокупность показателей качества работ исполнителей представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Иерархия критериев оценки качества работ исполнителей

На верхнем уровне иерархии размещена комплексная оценка качества работ исполнителей, на основе которой выполняется формирование управленческих решений. Нижний уровень иерархии представлен шестью критериями. Из признаков исключаются заработная плата и премия. Это связано с тем, что данные показатели используются как рычаги мотивации для работников и в данном случае целесообразно их использовать в виде категорий управленческих решений.

Для описания нечеткой системы сформированы нечеткие шкалы. Ось абсцисс – ненормированная шкала. Ее значения формируются на основе границ кластеров. Границы кластеров проецируются на ось абсцисс, при этом для некоторых показателей проекции кластеров могут пересекаться, поэтому количество термов может не совпадать с количеством выявленных кластеров. Ось ординат – нормированная шкала, где значения всегда от 0 до 1. Это степень принадлежности ( $\mu_j$ ) к определенному терму. Построенные шкалы отличаются значениями своих диапазонов. Для корректной работы алгоритма вывода комплексной оценки качества работ шкалы нормированы, ось абсцисс представлена в области  $[0; 1]$ .

Предложенные в работе нечеткие модели в виде шкал построены на основе результатов кластеризации данных анкетирования, проводимого в организации с определенной регулярностью. Поэтому число и границы термов нечетких шкал могут варьироваться по факту каждого анкетирования, что делает невозможным использование базы продукционных правил для нечеткого вывода. Использована процедура вывода универсальная по отношению к виду нечетких шкал показателей,

основанная на геометрических построениях, подробно описанная в [7]. Так как предлагаемая процедура нечеткого вывода не поддерживается готовыми инструментами, в среде *MATLAB* [8] разработано программное обеспечение для вывода комплексной оценки качества работ исполнителя.

Для исходных данных, приведенных в таблице 2, проведен расчет комплексной оценки качества работ конкретного исполнителя. Результаты представлены на рисунке 2.

Таблица 2 – Исходные данные

Показатель качества работ исполнителя	Значение показателя	Нормированное значение показателя
общий стаж работы (опыт)	11	0,37
исполнительность	70	0,63
аккуратность	75	0,69
удовлетворенность сотрудника	75	0,69
удовлетворенность руководителя	33	0,16
оценка качества работы коллегами	85	0,81

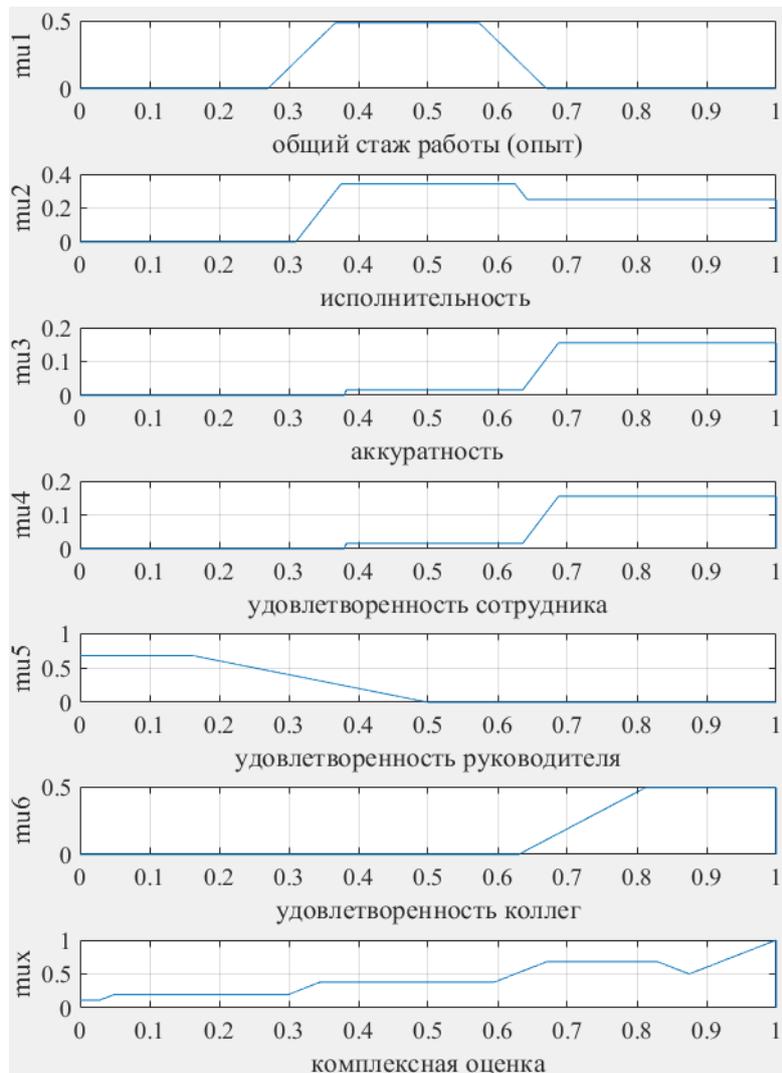


Рисунок 2. Нечеткие значения показателей качества работ исполнителя и комплексной оценки

На этапе дефаззификации выполнен переход к числовому значению показателя комплексной оценки качества работ конкретного исполнителя  $X=0,6374$ .

С помощью разработанной программы вычислены значения комплексной оценки качества работ всех исполнителей. Было проведено ранжирование исполнителей по значению комплексной оценки. Результаты ранжирования просты при интерпретации и могут быть использованы руководством при принятии решения о поощрении исполнителей проектных работ, о развитии персонала, профессионального обучения и т.д. При периодическом использовании метода, сравнивая результаты между собой, можно проследить за динамикой качества работ исполнителей, выявляя определенные тенденции и закономерности.

### **Выводы**

Проведен интеллектуальный анализ показателей качества работ исполнителей проектной организации. Результаты компонентного и кластерного анализа являются формальной основой для формирования нечетких моделей в виде нечетких шкал показателей качества работ исполнителей. Разработаны нечеткие алгоритмы формирования комплексной оценки качества работ исполнителей. Для автоматического расчета комплексной оценки качества работ исполнителей разработано программное обеспечение в среде MATLAB. Результаты расчета являются основой принимаемых руководством решений по мотивации исполнителей проектных работ.

### **Литература**

1. Огвоздин В. Управление качеством. Основы теории и практики. Учебное пособие, Изд-во: М.: Дело и сервис: 2017. – 272 с.
2. Гончарова, Н.В. Управление человеческими ресурсами организации в условиях современного рынка труда: учебное пособие / Н.В. Гончарова, Л.В. Дайнеко, Е.В. Зайцева; под общ. ред. Е.В. Зайцевой; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 162 с.
3. Александрова Т.В. Инновационный менеджмент: учеб. пособие /Т.В. Александрова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. Ч. 3. – 153 с.
4. Самоукина Н.В. Настольная книга менеджера по персоналу: полное практическое руководство, Изд-во: Ростов на Дону: Феникс, 2015. – 331 с.
5. Сапрыкин О.Н. Интеллектуальный анализ данных: учебное пособие/ О.Н. Сапрыкин. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 80 с.
6. Интеллектуальные системы: учебник/Л.Н. Ясницкий. – 2-е изд., электрон. изд-во: М.: Лаборатория знаний, 2020. – 224 с.
7. Сильнова С.В., Полюдова Г.Р., Пузырникова Е.А. Поддержка принятия решений при управлении предприятием на основе нечетких моделей//Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 11 (65). С. 33-41.
8. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель (2-е издание). Саратов: Профобразование, 2019. – 768 с.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ, УПРАВЛЕНИИ И БИЗНЕСЕ

УДК 004.422

### ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОБМЕНА ЮРИДИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫМИ ДОКУМЕНТАМИ С КОНТРАГЕНТАМИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

### SOFTWARE MODULE FOR THE EXCHANGE OF LEGALLY SIGNIFICANT DOCUMENTS WITH COUNTERPARTIES IN THE ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM

Старцева Е.В., Муталлапов Р.Н.,  
Институт нефтепереработки и нефтехимии ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате,  
ул. Губкина, 22 б, г. Салават, Республика Башкортостан,  
Россия, 453250

E.V. Startseva, R.N. Mutallapov,  
Institute of Oil Refining and Petrochemistry FSBEI HE USPTU in Salavat,  
Gubkin Str., 22b, Salavat, Republic of Bashkortostan,  
453250, Russia

e-mail: StartsevaEVwork@yandex.ru

**Аннотация.** Своевременно и грамотно организованный обмен юридически значимый документооборот в компании влияет на взаимоотношения с контрагентами. Распространение цифровых технологий повышает актуальность исследования новых способов организации обмена юридически значимыми документами. В развитии межкорпоративного ЭДО заинтересован, с одной стороны, бизнес – из-за территориальной удаленности контрагентов, когда пересылка и подписание документов либо занимают много времени, либо дорого стоят, с другой стороны, государство, которое работает над развитием законодательства в области обмена формализованными документами и стимулирует организации к взаимодействию с государственными органами преимущественно в электронном формате. Для того, чтобы компания получила оплату за проделанную работу она должна дожидаться документа от партнёра. Помимо этого, затраты на пересылку документации можно минимизировать, используя оператора электронного документооборота. В данной статье пойдет речь о различных формах документооборота в организациях. Рассмотрены основные преимущества внедрения электронного документооборота. Проанализированы проблемы и виды транзакционных издержек в компаниях. Описаны проблемы использования бумажных счетов-фактур и первичной документации. В рамках решения рассмотрена формализованная форма универсального передаточного документа с последующей отправкой контрагенту. Описан ход работы предлагаемого разрабатываемого модуля.

**Abstract.** Timely and competently organized exchange of legally significant document flow in the company affects the relationship with counterparties. The spread of digital

technologies increases the relevance of the study of new ways of organizing the exchange of legally significant documents. On the one hand, business is interested in the development of intercorporate EDO - due to the territorial remoteness of counterparties, when forwarding and signing documents either take a lot of time or are expensive, on the other hand, the state, which is working on the development of legislation in the field of the exchange of formalized documents and encourages organizations to interact with government agencies mainly electronically format. In order for the company to receive payment for the work done, it must wait for a document from the partner. In addition, the costs of sending documentation can be minimized by using an electronic document management operator. This article will focus on various forms of document management in organizations. The main advantages of the introduction of electronic document management are considered. The problems of the taxpayer in the field of transaction costs are analyzed. The problems of using paper invoices and primary documentation are described. Within the framework of the solution, the formalized form of a universal transfer document is considered. The progress of the proposed module under development is described.

**Ключевые слова:** система электронного документооборота, юридически значимый документооборот, универсальный передаточный документ, программный модуль, транзакционные издержки, налоговый спор, печатная форма

**Keywords:** electronic document management system, legally significant document management, universal transfer document, software module, transaction costs, tax dispute, printed form

С каждым годом количество компаний, которые внедрили электронный системный документооборот в России только увеличивается [1]. В современном мире это является одним из способов оптимизации бизнес-процессов по согласованию и подписанию документов как внутри компании, так и с контрагентами.

Главное преимущество применения электронного документооборота вместо бумажного это экономия ресурсов компании, таких как финансы или время. При работе с контрагентами финансовыми издержками являются транзакционные издержки, которые включают в себя [2]:

- издержки сбора и обработки информации,
- издержки проведения переговоров и принятия решений,
- издержки контроля,
- издержки юридической защиты выполнения контракта.



Рисунок 1. Зависимость времени оформления трансграничных сделок

при разных формах документооборота

Чтобы сократить представленные выше виды издержек компании пользуются услугами операторов электронного документооборота [3]. Затраты сокращаются не на 100%, но тем не менее экономят значительную часть финансовых ресурсов. Время также снижается, за счёт ненужности обмена документацией через курьеров, так как чаще всего контрагенты удалены от компании. Помимо этого, при организации юридически значимого электронного документооборота снижается вероятность подделок. В качестве контроля за документацией по транзакционным издержкам всё чаще применяется универсальный передаточный документ, который сочетает в себе функции счета-фактура и первичного документа.

Разрабатываемый программный модуль позволяет учесть вышеперечисленные аспекты. Он будет позволять формировать xml-форму на основе карточки универсального передаточного документа, подписывать её электронной подписью и отправлять контрагенту через оператора, не выходя из системы электронного документооборота.

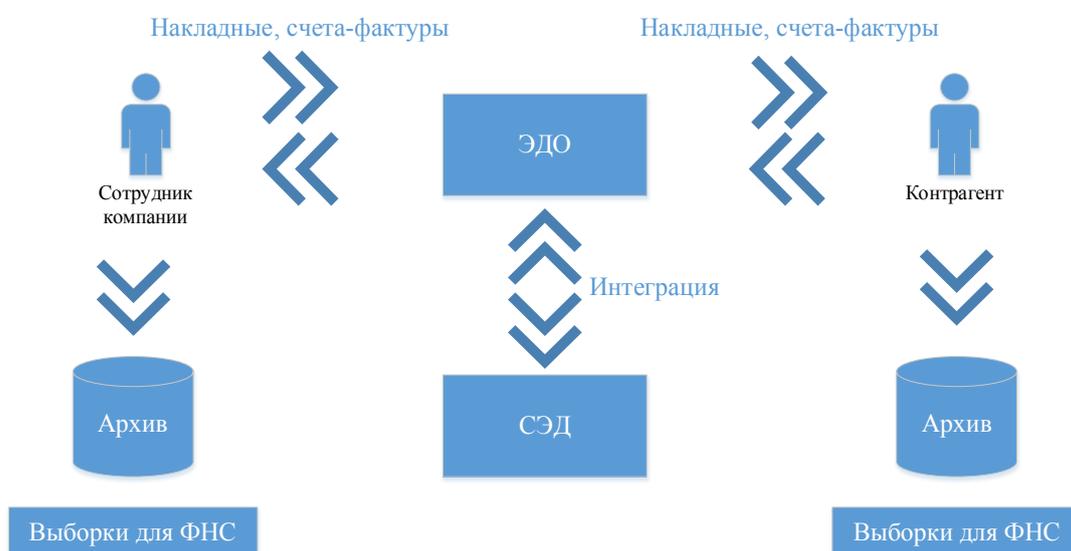


Рисунок 2. Схема взаимодействия с контрагентом через программный модуль

Для того, чтобы начать работу модуля необходимо создать карточку документа и заполнить её поля. Поле «Статус УПД» заполняется автоматически в зависимости от состояния документа. Чтобы выбрать вид акта, необходимо щёлкнуть на кнопку справа от поля и выбрать из выпадающего списка.

Работа модуля может быть продемонстрирована при нажатии на кнопку «Сформировать файл» в панели инструментов «Действия».

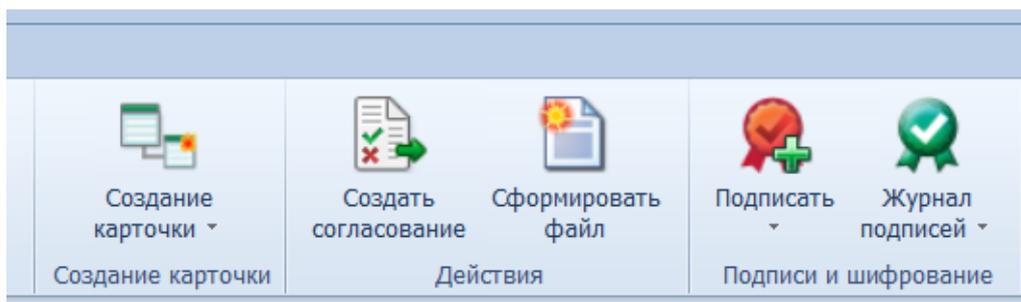


Рисунок 3. Команда сформировать файл на ленте

Регистрация | **Файлы и ссылки** | Категории | Задания | Комментарии | История | Журнал обмена ЮЗДО | Печатная форма

**Контрагент**

Организация:  
Тестовая организация №1982270

Контактное лицо:

Номер договора (старые): Тест787 | Проект: КСПГ КС Портовая | Шифр: 006

Предмет договора:  
Услуга

Назначение платежа:

Сумма по акту: 1,00 | Сумма аванса, подлежащая зачету: 0,00 | Сумма гарантийных уде:

Валюта: RUB | Сумма к перечислению (в т.ч. НДС): 1,00 | Ставка НДС:

Дата оплаты: 24.03.2022 | Дата планируемого платежа: | Срок мотивированного: 18.03.2022

Рисунок 3. Внешний вид заполненной карточки

После преобразования данных из xml-формы получится следующий сформированный файл (рисунок 4). На выходе получается готовая форма для печати. Но для отправки контрагенту этого недостаточно, так как документ не имеет юридической силы. Для того чтобы УПД был её наделён необходимо подписать его.

Регистрация | Файлы и ссылки | Категории | Задания | Комментарии | История | Журнал обмена ЮЗДО | Печатная форма

Примечание № 1 к порядку ЮЗД: Ресурсы от 21.02.2015 № ММБ.20.15/040

Счет-фактура № Тест\_6 от 05.03.2022 (1)  
Исправление № от от (1a)

Универсальный передаточный документ  
Статус: (1)  
1 - счет-фактура и передаточный документ (акт)  
2 - передаточный документ (акт)

Продавец: Тестовая организация №1982270  
Адрес: Республика Башкортостан, 9619822700 / 961901000  
ИНН КПП продавца: Грузоотправитель и его адрес

Покупатель: Общество с ограниченной ответственностью "Научно Исследовательский Проектный Институт Нефти и Газа "Петро"  
Адрес: 450071, Республика Башкортостан, Уфа, Проспект Салавата Юлаева, д. 38  
ИНН КПП покупателя: 0277046541 / 027801001  
Валюта: наименование, код: Российский рубль

№ п/п	Код товара/ работ, услуг	Наименование товара (описание выполненных работ, оказанных услуг), имущественного права	Единица измерения		Количество (объем)	Цена (тариф) за единицу измерения	Стоимость товаров (работ, услуг), имущественных прав без налога - всего	В том числе сумма акциза	Налоговая ставка	Сумма налога, предъявленная покупателю
			код	условное обозначение (наименование)						
A	B	Услуга	1	2a	3	4	5	6	7	8
1		Услуга			1	1,00	1,00	без акциза	без НДС	без НДС
Всего к оплате							1,00	к	к	без НДС

Руководитель организации или иное уполномоченное лицо: Диадок Сертификат Тестовый (ф.и.о.) | Главный и  
Индивидуальный предприниматель: \_\_\_\_\_ (ф.и.о.)

Основание передачи (сдачи) / получения (приемки): Без документа-основания (договор, договорность и др.)

Товар (груз) передат / услуги, результаты работ, права сдать (договор) | Товар (груз) получил / услуги, результаты работ, права принял (договор, договорность и др.)

Дата отгрузки, передачи (сдачи) (подпись) (ф.и.о.) [10] | Дата получения (приемки) (договорность) [11]

Иные сведения об отгрузке, передаче (ссылка на вестимосное приложение, сопутствующие документы, иные документы и т.д.) [12] | Иные сведения о получении, приемке (информация о наличии отсутствия претензии, сс [13]

Ответственный за правильность оформления факта хозяйственной жизни: Вел специалист (договорность) (ф.и.о.) [13] | Ответственный за правильность оформления факта хозяйственной жизни (договорность) [14]

Наименование экономического субъекта - составителя документа (в т.ч. комиссионера / агента) (договорность) [14] | Наименование экономического субъекта - составителя документа

Тестовая организация №1982270, ИНН 9619822700, КПП 961901000

Рисунок 4. Печатная форма УПД

## Выводы

Очень важно грамотно организовать обмен юридической документацией с контрагентами, ведь от этого напрямую зависит срок оплаты от заказчика, а также расходы, которые могут возникнуть при задержке процессов. Использование формализованной формы универсального передаточного документа позволит максимально быстро обмениваться первичной документацией. Применение электронной подписи, в свою очередь, защитит документ от нежелательных изменений.

## Литература

1. Документооборот на предприятии: правила и принципы. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sekretariat.ru/article/210898-organizatsiya-dokumentoborota-v-organizatsii-19-m4> (дата обращения 27.03.2022).
2. Андреева, В.И. Делопроизводство. Требования к документообороту фирмы (на основе ГОСТов РФ); Бизнес-школа Интел-Синтез; Издание 2-е, перераб. и доп. – М., 2016. – 222 с.
3. Толкушкин, А.В. Налоги и налогообложение/А.В. Толкушкин, А.В. Перов. – М.: Юрайт, 2020. – 672 с.

УДК 004

### АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ TELEGRAM-БОТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ БИЗНЕС-ЗАДАЧ

### ANALYSIS OF THE USE OF TELEGRAM-BOTS IN PERFORMING BUSINESS TASKS

Устинова Л.Е., Гончаренко А.Н.,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
г. Москва, Российская Федерация

L.E. Ustinova, A.N. Goncharenko,  
National Research Technological University “MISIS”,  
Moscow, Russian Federation

e-mail: [ustinovalada512@yandex.ru](mailto:ustinovalada512@yandex.ru)

**Аннотация.** Активный всплеск развития информационных технологий влияет на появление новых решений и инноваций, поэтому в настоящее время можно наблюдать как различные услуги стремительно входят в привычные систематизированные процессы. Одним из явных представителей такого появления являются текстовые боты, или их еще называют, чат-боты. Чат-боты используются в самых различных средах применения, начиная от простого помощника при выборе билета в кинотеатр, до автоматизированной системы при подаче заявки на ипотеку в банке. Telegram-боты являются одним из самых распространенных решений на существующем рынке текстовых ботов, они максимально приближены к человеку и являются человекоподобным собеседником при диалоге с пользователем. Telegram-боты способны поддерживать контакт со своим пользователем в любое время 24/7. Такие digital-технологии позволяют компаниям постоянно удерживать внимание клиента, помогать ему решать непредвиденные вопросы и возникающие проблемы, а также собирать информацию о пользователе и анализировать ее для дальнейшего применения в нуждах производства. Поэтому благодаря разработанным инновационным технологиям и методам коммуникации ботов с различными бизнес-клиентами упрощается и взаимодействие пользователей с информационными системами. Telegram-боты достаточно легко интегрируются в любые среды, позволяют решать бизнес-задачи различного характера и происхождения, что в существенном виде влияет на временные и денежные ресурсы компании.

**Abstract.** An active upsurge in the development of information technology is manifested in the emergency of new solutions and innovations, therefore, one can observe how various services are included in the usual systematized processes. Some of the obvious representatives of this type are similar to text bots, or they are also called chat bots. Chat-bots are used in a wide range of applications, ranging from a simple assistant when choosing a movie ticket to an automatic one when applying for a mortgage at a bank. Telegram-bots are one of the most common solutions on the market, they are as close as possible to a person and are a human-like interlocutor in a dialogue with a user. Therefore, thanks to the developed innovative technologies and methods of communication between bots and various users, interaction with information systems has also simplified. Telegram-bots are quite easy to integrate into any environment, allowing one to solve business problems of various kinds and origins.

**Ключевые слова:** чат-боты, текстовые боты, Telegram-бот, информационная система, бизнес-задачи, автоматизация процессов.

**Keywords:** Chat-bots, text bots, Telegram-bots, information system, business-case, process automation.

### **Новаторские взаимодействия компаний с бизнес-клиентами**

С каждым днем задачи бизнеса становятся все больше и больше клиентоориентированными, так как растет количество потребляемой информации. В связи с ростом приложений на рынке растет также и перечень предлагаемых услуг. С помощью различного рода цифровых каналов происходит взаимодействие пользователей и различных компаний, следствием этого факта можно считать изменение существующей парадигмы отношений между компанией и клиентом, а также переход к новой системе клиентского сервиса.

Персонализация различных digital-каналов, направленных на решения задач и обслуживания клиентов – это одна из самых главных новаторских стратегий цифрового маркетинга. Пользователи уже привыкли взаимодействовать между собой с помощью чатов или различных мессенджеров так как, это удобно, не вызывает особых проблем, имеется достаточно понятный интерфейс и специальные возможности, которые расположены в пользовательском цифровом гаджете.

Количество digital-технологий растет с непрерывной скоростью, следовательно, растет и количество предложений на рынке. Каждый день появляются новые коммуникационные каналы, главной задачей которых является взаимодействие с потребителем. Современные IT-компании, работающие с бизнес-задачами, адаптируются под изменяющиеся мировые рамки, вследствие чего возникает понятие – омниканальный маркетинг. Данное понятие несет в себе смысл объединения точек коммуникационных возможностей с потребителем с целью универсального, нового опыта, который не зависит от площадки использования или же определенного бизнес-этапа. Применение омниканального маркетинга позволяет расширить рыночную долю, использовать новые инструменты и платформы, сохраняя разработку бизнес-сценариев клиентов.

### **Главные задачи чат-ботов**

Не следует забывать, что автоматизация различных бизнес-процессов в IT-области носит достаточно современный характер. Все тяжело протекающие рутинные задачи заменяются на автоматизированные процессы, которые в значительном объеме

сокращают ресурсы и время компаний. Автоматизации подлежат как определенные процессы в сфере управления человеческими ресурсами, так и процессы, связанные с машинными аппаратными средствами. Тематика автоматизации процессов отдельных отделов предприятий отражается во многих исследовательских работах, где главной целью исследования является доказательство необходимости внедрения программного обеспечения, выявление преимуществ и недостатков внедряемой системы, а также способы ее улучшения.

Разработанные современные технологии позволяют взаимодействовать с потенциальными бизнес-клиентами в онлайн-среде: в социальных сетях, мессенджерах, на сайтах. Из этого вытекает ключевой параметр в виде времени, так как отсутствие оперативно принятых решений могут сыграть ключевую роль на финализации решения бизнес-клиента. Поэтому на помощь в таких ситуациях приходят текстовые боты или как их еще называют - чат-боты. Чат-бот — это программа, которая имитирует живое человеческое общение, создавая иллюзию диалога с клиентом, он следует по четко-структурированному алгоритму или функционирует с помощью технологий машинного обучения.

Существуют различные виды чат-ботов, в зависимости от поддерживаемого функционала, они решают определенные задачи или используются исключительно в качестве личных помощников. В основном чат-боты классифицируются по нескольким категориям, в которые входят:

- алгоритмические:
  - ограниченный – для функционала данного вида прописывается конкретный заранее подготовленный скрипт, который действует только в своих определенных рамках и не выходит за них;
  - саморазвивающийся – иными словами, умный чат-бот имеет возможность взаимодействовать с пользователем с помощью нейронной сети и алгоритмов машинного обучения;
- видовые:
  - кнопочный – формат данного вида говорит сам за себя, в функционале поддерживаются только возможные варианты ответа, которые пользователь может выбрать из выпадающего меню;
  - текстовый – такой бот распознает письменные вопросы или ответы пользователя, может классифицировать их под одну или другую нишу, в зависимости от поставленной задачи;
  - смешанный — это гибридный вид ботов, они поддерживают в себе как всплывающее экранное меню с кнопками, так и могут принимать на вход письменные ответы пользователя в свободной форме. Дополнительной возможностью таких ботов является прикрепление файлов в качестве ответов, причем файлы могут быть различных форматов, начиная от обычных текстовых .txt, заканчивая форматами .mp3 и .mp4;
- функциональные:
  - коммуникационный – такой формат бота применяется исключительно для общения с пользователем, он может отвечать на вопросы, делиться информацией о скидках или специальных предложениях, грамотно по запросам пользователя подобрать товар или услугу;
  - функциональный – отдельный вид ботов, которые по ответам пользователя могут выполнить конкретное действие, требуемое от поставленной задачи: забронировать билеты, перевести деньги, отследить время доставки и так далее.

Чат-боты могут располагаться на различных платформах, так как они очень просто интегрируются с различными системами, например, такими как Slack, Skype, Facebook Messenger, VK, Instagram, Viber и так далее.

## Реализация бизнес-задач посредством использования Telegram-ботов

Одной из наиболее популярных платформ, которые позволяют создавать ботов с помощью надежных API-интерфейсов, является Telegram. Telegram-боты могут быть полезны в различных бизнес-задачах, так как они очень гибкие и могут содержать разного рода инструментарий. Telegram-боты могут заменять службы технической поддержки, производить сбор и обработку заявок пользователей, оформлять заказы, помогать пользователю в выборе, отвечать на конкретно задаваемые вопросы и рассылать сообщения по триггеру или по намеренно указанному времени. Такие виртуальные собеседники, являющиеся простой компьютерной программой, способны собирать информацию, анализировать ее и использовать в целевых нуждах клиента. В большинстве случаев они представляют собой узконаправленные и четко структурированные информационные системы, работающие с целью выполнения конкретных задач.

Если обобщить существующий функционал, то в основном ключевыми парадигмами решения бизнес-кейсов главными характеристиками ботов будут являться:

- поддержка общения с заказчиком в любое удобное для него время, то есть работа системы в режиме 24/7 для постоянного взаимодействия с клиентом;
- автоматизация решения типовых бизнес-задач. Telegram-бот способен автоматизировать выполнение рутинных задач с клиентом на новом гибком автоматизированном уровне, он способен подавать клиенту интересующую его информацию, быстро обрабатывать полученный от пользователя ответ, а также проводить аналитику или агрегировать полученные данные;
- автоматизация рассылок по триггеру. Такие боты способны в режиме реального времени отслеживать конкретного рода события или транзакции и производить автоматическую рассылку, иными словами, присылать уведомление клиенту, при изменении определенных критериев задачи. Также возможна прямая трансляция сообщений с почты в телеграмм-аккаунт пользователя с сохранением всего рабочего функционала почты;
- автоматизация действий. Когда завершается одно конкретное действие, по его результатам планомерно запускается другое или несколько других. Весь данный процесс происходит в полностью автоматическом режиме, что является для бизнес-пользователя очень удобным решением.

Таким образом Telegram-бот подходит под различные бизнес-кейсы, которые можно внедрить или имплементировать в уже существующие процессы. Это является одним из главных преимуществ использования Telegram-ботов в качестве дополнительных решений к существующим системам.

Интерфейс Telegram-бота достаточно прост и удобен (рисунок 1), а также знаком пользователю, так как Telegram является одним из самых популярных мессенджеров в наше время.

Telegram-боты не требуют установки дополнительных программ или сторонних утилит, они сразу разворачиваются в вашем мессенджере, как диалог с любым из сохраненных контактов в вашем электронном устройстве.

Каждый Telegram-бот — это отдельный аккаунт, с которым пользователь начинает взаимодействовать и вести переписку, обмениваться сообщениями.

Также, еще одной из главных особенностей Telegram является шифрование трафика. Благодаря такой безопасной передаче данных данная платформа привлекла особый интерес пользователей. Обычные юзеры в своём пользовании имеют одну из самых надежных систем защиты данных, а также простой, удобный и понятный интерфейс.

Все эти характеристики отлично ложатся на задачи бизнеса, так как сохранение персональных данных клиентов — это один из самых важных пунктов любой компании.

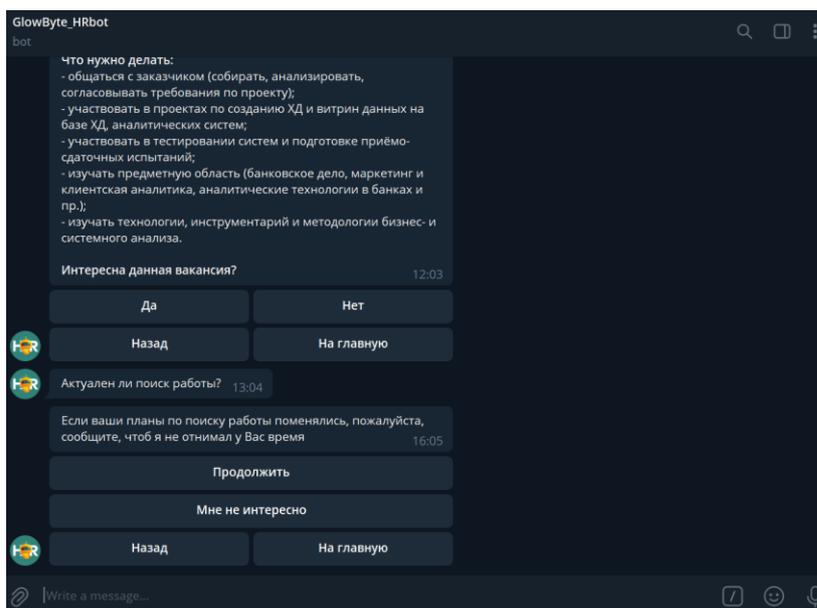


Рисунок 1. Интерфейс и пример взаимодействия с Telegram-ботом

### **Перспективы и недостатки выполнения бизнес-задач посредством использования Telegram-ботов**

Применение Telegram-ботов как нового инструмента взаимодействия с бизнес-задачами открывает огромные возможности для дальнейшей парадигмы развития общения компаний с бизнес-клиентами. Новаторские digital-каналы связи для решения различных бизнес-задач с каждым днем все глубже проникают в существующие процессы компаний. Если рассматривать массовый сектор применения Telegram-ботов, то это одно и, так как они способны предложить широкий выбор функций и процедур для взаимодействия с клиентом, поэтому следует выделить ряд преимуществ, которые достигаются за счет использования Telegram-бота в задачах бизнеса:

- процессы переходят в автоматизированный или полуавтоматизированный режим, что позволяет достаточно эффективно и комплексно решать задачи оптимизации производства;
- повышается гибкость компании за счет быстрой реконфигурации существующих процессов и динамичного изменения их характеристик;
- улучшается конкурентное преимущество на существующем рынке за счет увеличения клиентов и лидов;
- происходит потенциальный прирост прибыли за счет автоматизации бизнес-процессов;
- создаются новые бизнес-возможности, позволяющие компании выйти на новый, более гибкий уровень;
- происходит сбор статистических данных, по которым возможно построение дальнейших аналитических процессов, ориентированных на клиентов;
- сохраняется надежное шифрование персональных данных, дающее возможность пересылать данные без дополнительных ограничений или установочных программ;
- появляется существенная экономия ценных ресурсов компании, которая измеряется во временном и денежном эквивалентах.

Все ранее рассмотренные пункты напрямую или косвенно влияют на получение прибыли организации или предприятия, затрачиваемые и получаемые ею ресурсы, время обработки информации и использования полученной информации.

Текстовые Telegram-боты не требуют дорогостоящих финансовых вложений для обеспечения качественного клиентского сервиса. Они также поддерживают функционал по событию, а это значит, что при завершении одной задачи, может запуститься другая или несколько других в полностью автоматизированном режиме, причем клиенту для этого не потребуются никаких усилий, так как Telegram-бот все сделает за него.

Несомненно, по сравнению с положительными качествами использования Telegram-ботов будут присутствовать и недостатки:

- внедрение Telegram-ботов в существующие бизнес-процессы на сегодняшний день находится только в начальном состоянии, отсюда следуют риски для компаний;

- Telegram-боты устанавливаются как дополнительный функционал, а не как основа бизнес-процессов, поэтому возможны небольшие нестыковки между существующими процессами и внедряемыми Telegram-ботами;

- при внедрении Telegram-бота зачастую непонятно в каком направлении двигаться дальше. Интеграция с Telegram-ботом не дает точной гарантии существенного увеличения прибыли или колоссального привлечения клиентов, все нюансы в частных случаях зависят от процесса и самих поставленных бизнес-задач.

таким образом Telegram-боты являются широким инструментом для применения. Они способны выполнять различного рода бизнес-задачи, а их область использования не ограничена никакими рамками. Формат чат-бота максимально адаптирован под пользователя, так как все взаимодействие с ним происходит внутри самого мессенджера. Хотя Telegram-боты являются достаточно новаторской фичей, но они уже зарекомендовали себя как надежные, эффективные и экономически-выгодные системы выполнения бизнес-процессов компании.

## **Выводы**

В настоящее время использование чат-ботов, а также сопутствующих этому процессу технологий, в колоссальном объеме влияют на взаимодействие с классическими информационными системами. Широкоформатное применение ботов в задачах бизнеса позволяет подстраиваться под интересы потребителя, снижать издержки и временные затраты, что в существенном виде влияет на позицию компании и ее уровень конкуренции на рынке.

Обширное внедрение Telegram-ботов, как одних из самых распространенных на сегодняшний день, в существующие процессы приводит к цифровой трансформации, по которой становится заметно стратегическое изменение самих бизнес-процессов компании.

Благодаря их использованию компании выходят на новый, совершенно иной уровень управляемости, функционирования и взаимодействия с клиентами, переходя от старой системы к новой, более гибкой.

Telegram-боты служат отличным решением для различного рода бизнес-задач и автоматизации бизнес-процессов внутри компании, так как с помощью них происходит оптимизация внутренних процедур, комплексный подход к решению задач становится более гибким, уменьшается время принятия и обработки информации, а также происходит увеличение клиентуры, за счет возможности быстрого ответа на любой вопрос клиента.

## Литература

1. Новиков Д.А. Чат-боты как инструмент интернет-бизнеса/Д.А. Новиков, Е.М. Спиридонова//Заметки по информатике и математике. – 2017. – № 4 – С. 115-120.
2. Романова Е.В. Чат-боты как элемент управления системой/Е.В. Романова, А.В. Двигубский//Хроноэкономика. – 2019. – № 7 (20). – С. 94-99.
3. Мазинова А.Э. Применение чат-ботов в бизнесе/А.Э. Мазинова, М.А. Бакуменко//Актуальные проблемы и перспективы развития экономики. – 2019. – № 330. – С. 240-241.
4. Сазанова Л.А. Чат-боты как современный инструмент бизнес-анализа/Л.А. Сазанова, М.А. Зенков // ВІ-Технологии и корпоративные информационные системы в оптимизации бизнес-процессов цифровой экономики. – 2019. – № 48. – С. 22-23.
5. Гареева Г.А. Достоинства и возможности чат-ботов в мессенджере Telegram/Г.А. Гареева, Р.Ф. Фархутдинов//Инновационный потенциал развития общества: Взгляд молодых ученых. – 2021. – № 5 (1). – С. 88-90.

УДК 004.8

### **ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В КОМПАНИИ ООО «ЮСБ-ЛОГИСТИКС» НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

### **MANAGEMENT DECISION-MAKING IN THE COMPANY OF LLC «USB-LOGISTICS» BASED ON DATA ANALYSIS USING A NEURAL NETWORK**

<sup>1</sup>Мельников Р.Д., <sup>2</sup>Фомичева О.Е.,  
<sup>1</sup>ООО «ЮСБ-Фарма Логистикс»,

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС»  
г. Москва, Российская Федерация

R.D. Melnikov<sup>1</sup>, O.E. Fomicheva<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>LLC “YUSB-Pharma Logistics”,  
<sup>2</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
“National Research Technological University “MISIS”  
Moscow, Russian Federation

e-mail: m1802765@edu.misis.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты структурного системного анализа предметной области деятельности фармацевтической компании ООО «ЮСБ-Фарма Логистикс». Определены особенности фармацевтической предметной области и ее специфика. Объектом исследования выбран анализ торговли оптовой фармацевтической продукцией ООО «ЮСБ-Фарма Логистикс». Актуальность темы статьи обусловлена необходимостью повышения качества и ускорения процессов анализа данных при помощи интеллектуальных аналитических алгоритмов для более качественного

принятия управленческих решений и минимизаций рисков принятия ошибочных решений. В статье рассматривается теоретическая основа реализации аналитического алгоритма консолидированной аналитической информации из разных подразделений и отделов компании для оперативного и качественного принятия управленческих решений. Для разработки аналитического модуля используются предиктивные методы анализа данных на базе четырехслойной нейронной сети, реализованные при помощи языка программирования Python, а также библиотек для машинного обучения NumPy и Pandas. Разработанный аналитический модуль минимизировал риски в принятии управленческих решений в отношении маркетинговых процессов, сделал процесс принятия управленческих решений более гибким и ускорил его, – все это позволило увидеть положительную динамику роста качества принятых управленческих решений.

**Abstract.** The article presents the results of a structural system analysis of the subject area of the pharmaceutical company LLC “YUSB-Pharma Logistics”. The features of the pharmaceutical subject area and its specificity are determined. The object of the study is the analysis of wholesale pharmaceutical products of LLC "USB-Pharma Logistics". The relevance of the topic of the article is due to the need to improve the quality and speed up data analysis processes using intelligent analytical algorithms for better management decision-making and minimizing the risks of making erroneous decisions. The article discusses the theoretical basis for the implementation of the analytical algorithm of consolidated analytical information from different divisions and departments of the company for operational and high-quality management decision-making. Predictive data analysis methods based on a four-layer neural network implemented using the Python programming language, as well as NumPy and Pandas machine learning libraries are used to develop the analytical module. The developed analytical module minimized the risks in making managerial decisions regarding marketing processes, made the process of making managerial decisions more flexible and accelerated it - all this allowed us to see the positive dynamics of the growth of the quality of managerial decisions made.

**Ключевые слова:** интеллектуальный анализ данных, поддержка принятий управленческих решений, предиктивные методы, нейронная сеть.

**Keywords:** data mining, management decision support, predictive methods, neural network.

Как и любые структуры, работающие с большими объемами данных, фармацевтические компании сталкиваются со сложностью оперативного реагирования на резкие изменения условий работы на рынке. Специфика производственных процессов требует гибкости в принятии управленческих решений, хорошо налаженных связей и обмена информацией в структурных подразделениях [4, 5]. Современные информационные технологии, такие как предиктивные алгоритмы, позволяют строить эффективные системы поддержки принятия управленческих решений. В связи с использованием огромного количества информации становится все сложнее учитывать все факторы, анализировать данные, строить прогнозы. Сложность фармацевтической сферы заключается в большом количестве промежуточных этапов между производством и реализацией препаратов, обязательным наличием специальных условий для хранения лекарственных препаратов, постоянным контролем качества, контролем деятельности со стороны государственных структур и т.д.

ООО «ЮСБ-Фарма Логистикс» является крупной фармацевтической компанией с большим количеством различных функциональных отделов, которые в свою очередь

имеют своих представителей по всей территории РФ. Наличие большого количества персонала, задействованного в ежедневном процессе работы компании, номенклатурная специфика отрасли формируют большие объемы данных, которые необходимо структурировать, классифицировать, оперативно анализировать для принятия управленческих решений.

Основная диаграмма потоков данных процесса снабжения фармацевтического рынка иллюстрирует потоки данных и процесс от производства препаратов до конечного потребителя (рисунок 1).

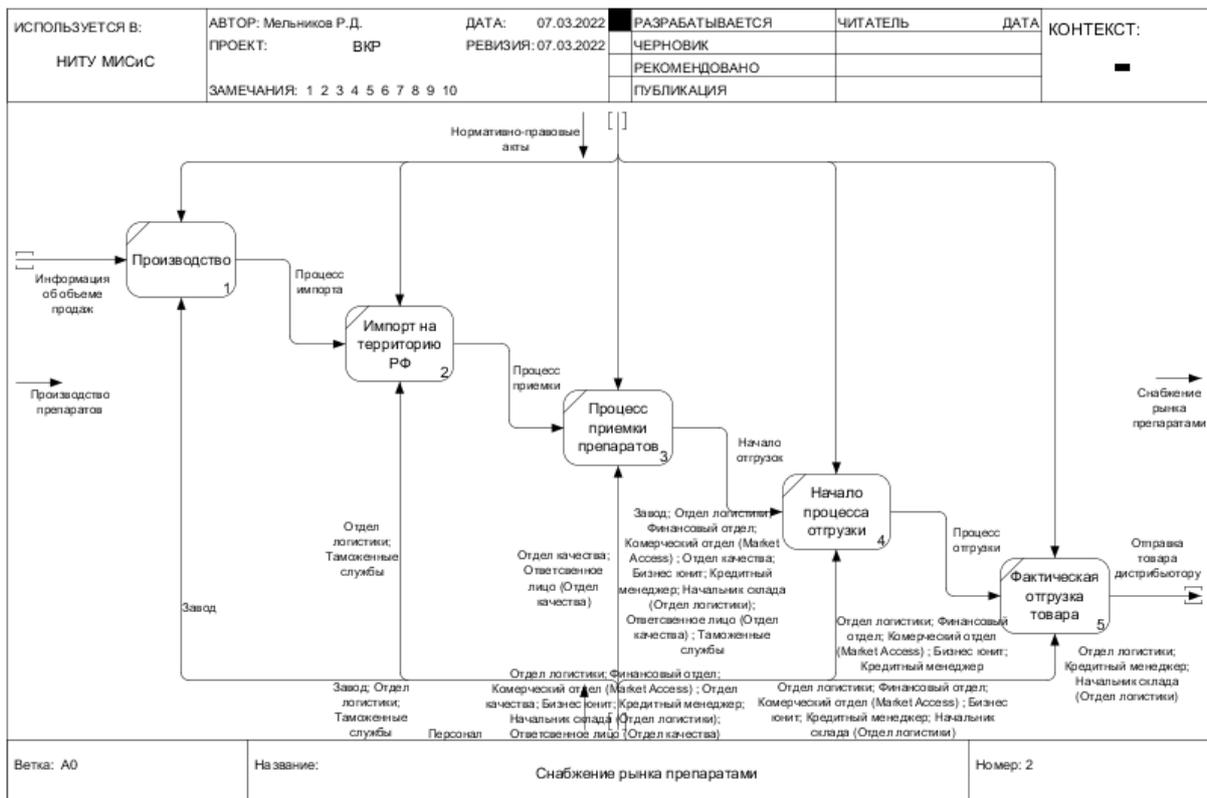


Рисунок 1. Основная диаграмма процесса снабжения рынка препаратами

После того как заводы получили данные о планируемых объемах продаж на следующие годы (1-5 лет) от отдела логистики и составили объемы производства препаратов, начинается процесс их производства. Произведенные препараты проходят стадию внутреннего контроля качества на заводах и импортируются из Германии, Бельгии и Швейцарии на территорию РФ. Как только препараты прошли таможенный контроль, получили все декларации, отдел логистики перевозит препараты из таможенной зоны (Склада временного хранения) на склад постоянного хранения, параллельно информируя отделы качества и финансовый. После поступления препаратов на склад постоянного хранения, отделом качества берутся пробы препаратов для локальных тестов, которые необходимы для их реализации на территории РФ. Финансовый отдел рассчитывает себестоимость препаратов и финальную отпускную цену для продажи препаратов дистрибьюторам. Когда лаборатория заканчивает свою работу над тестированием препаратов, ответственное лицо из отдела контроля качества еще раз проверяет наличие всех сертификатов и деклараций и вводит препараты в гражданский оборот. После ввода препаратов в гражданский оборот отдел логистики и коммерческий отдел начинают процесс отгрузки препаратов, обрабатывая заказы от дистрибьютеров и готовя отгрузочные документы. Как только компания и дистрибьютор подписывают все бумаги, кредитные менеджеры начинают проверку

кредитоспособности для дальнейшей фактической отгрузки препаратов, передавая информацию по открытым заказам отделу логистики, который подготавливает все необходимые отгрузочные документы (заказы, декларации, сертификаты качества и т.д.), собирает заказы и передает их транспортным компаниям дистрибьюторов, при этом передавая право собственности на препараты. На каждом этапе этого процесса происходит обработка большого объема данных, который в дальнейшем консолидируется с данными смежных этапов и направляется руководству.

Проблемой компании ООО «ЮСБ-Фарма Логистикс» является недостаток корректной и оперативной информации для принятия управленческих решений. Это связано с большим объемом данных, которые обрабатываются вручную. Самым популярным технологическим решением в компаниях фармацевтической отрасли является внедрение передовых автоматизированных бизнес-процессов на основе современных информационных нейросетевых технологий.

Для реализации аналитического алгоритма была взята четырехслойная нейронная сеть (рисунок 2), в третьем слое которой были использованы следующие аналитические методы: линейная регрессия, метод главных компонент, которые позволили структурировать данные, уменьшить размерность данных, потеряв наименьшее количество информации, спрогнозировать значения наилучших показателей на основе среднего значения [3, 4].

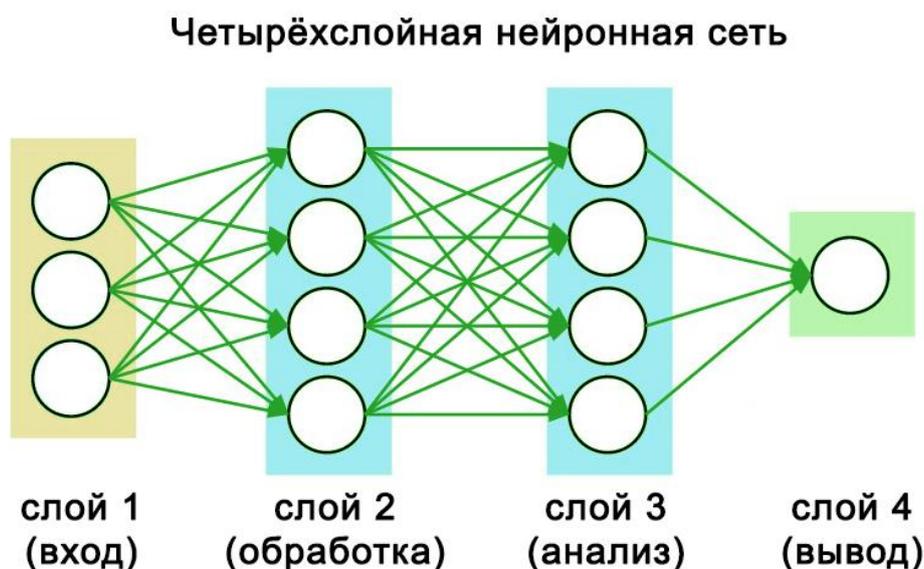


Рисунок 2. Структура четырехслойной нейронной сети

Для реализации аналитического алгоритма используется язык программирования Python, а также библиотеки для машинного обучения NumPy и Pandas [5]. Совместное использование вышеперечисленных методов и нейронной сети позволило определить какие факторы работы становились причиной положительной динамики и позволило облегчить процесс принятия важных управленческих решений.

## Выводы

В современных условиях достижение конкретных результатов управленческой деятельности требует не только понимания природы управленческих решений, но и способов их разработки, изучение теоретических подходов, применение автоматизации

для анализа данных и т. п. Ошибки в принятии управленческих решений могут обусловить большие негативные последствия, так как решения касаются не только одной личности, но и подразделения или организации в целом [6].

Так же становится очень важным, что в условиях динамичной внешней и внутренней среды решения должны приниматься быстро. При этом особо актуальной становится проблема качества принимаемых решений. Организация, способная принимать в короткие сроки качественные решения, имеет неоспоримые преимущества. Качество принимаемых решений при высокой скорости их разработки может быть обеспечено только знанием современных технологий, таких как АСУ, интеллектуальный анализ данных и т.п.

Предлагаемый алгоритм способствует консолидации разрозненной аналитической информации из разных отделов для оперативного принятия управленческих решений.

### Литература

1. Балдин, К. В. Управленческие решения / К.В. Балдин, С.Н. Воробьев, В.Б. Уткин. – М.: Дашков и Ко, 2019.
2. Логинов, В.Н. Управленческие решения. Модели и методы/В.Н. Логинов. – М.: Альфа-пресс, 2017.
3. Искусственный интеллект и принятие решений: Интеллектуальный анализ данных. Моделирование поведения. Когнитивное моделирование. Моделирование и управление/Под ред. С.В. Емельянова. – М.: Ленанд, 2012.
4. Информационные технологии и вычислительные системы: Обработка информации и анализ данных. Программная инженерия. Математическое моделирование. Прикладные аспекты информатики/Под ред. С.В. Емельянова. – М.: Ленанд, 2015.
5. Маккинли, У. Python и анализ данных/У. Маккинли. – М.: ДМК, 2015.
6. Буланов В.А., Фомичева О.Е. Метрики оценки качества модели классификации на примере задачи кредитного скоринга/«Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика» №3, 2020, С. 33-37.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

УДК 004.896

### МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### MODELS AND ALGORITHMS OF INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR TECHNICAL PROCESSES

Корабошев О.З.,  
Научно-исследовательский институт  
развития цифровых технологий и искусственного интеллекта,  
г. Ташкент, Узбекистан

O.Z. Koraboshev,  
Digital technologies and Artificial intelligence  
development Research Institute,  
Tashkent, Uzbekistan

e-mail: kolumb\_80@inbox.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты исследований в области технологий поддержки принятия решений, требующих научных требований. Основное внимание уделяется принятию надежных и эффективных решений в системе поддержки принятия решений основанной на технических процессах, использования интеллектуальных систем, выражения знаний и разработки методов и моделей обработки. Кроме того, на данном материале показано, что в условиях современного научно-технического развития организационно-технические системы функционируют в условиях динамично изменяющейся среды, изменения различных условий и ограничений, иногда сопровождающихся оперативными задачами и другими процессами. Это приводит к разработке адекватных и полных моделей, отстающих от реальности и потребностей управления. В реальной жизни они ежедневно сталкиваются с необходимостью принимать решения, когда отсутствует полная и адекватная модель управляемого процесса или объекта. Построение точных математических моделей сложных объектов, пригодных для реализации и эксплуатации на современных компьютерах, либо затруднительно, либо вообще невозможно. Это отражает «сложность» объекта управления, что в свою очередь приводит к отказу от апробированных схем управления, переходу к использованию эвристических процедур, абстрагирующих некоторые параметры объекта для получения более простой и легкой модели, и делающих их более удобно требует реализации. Поэтому внедрение интеллектуальных систем в процесс принятия решений в технических процессах является важной задачей.

**Abstract.** The article discusses the results of research in the field of decision support technologies that require scientific requirements. The focus is on making reliable and efficient decisions in a decision support system based on technical processes, using intelligent systems, expressing knowledge and developing processing methods and models. In addition, this material shows that in the conditions of modern scientific and technological development,

organizational and technical systems function in a dynamically changing environment, changing various conditions and restrictions, sometimes accompanied by operational tasks and other processes. This leads to the development of adequate and complete models that lag behind reality and management needs. In real life, they are faced daily with the need to make decisions when there is no complete and adequate model of a controlled process or object. The construction of accurate mathematical models of complex objects suitable for implementation and operation on modern computers is either difficult or even impossible. This reflects the “complexity” of the control object, which in turn leads to the abandonment of proven control schemes, the transition to the use of heuristic procedures that abstract some of the object's parameters to obtain a simpler and easier model, and making them more convenient to implement. Therefore, the introduction of intelligent systems in the decision-making process in technical processes is an important task.

**Ключевые слова:** высокоэффективные системы, интеллектуальные системы, интерпретируемость, интеллектуальные алгоритмические методы, прогнозирование.

**Keywords:** high-performance systems, intelligent systems, interpretability, intelligent algorithmic methods, forecasting.

С развитием информационных технологий важную роль в управлении автоматизированными технологическими процессами играют информационно-коммуникационные системы. Потому что сегодня сигналы изменения технологических параметров, передаваемые современными интеллектуальными датчиками, передаются на современные микроконтроллеры с программным обеспечением, через которые они передаются в вычислительную систему, а полученные сигналы и их обработка в исполнительные механизмы. Принятие решений считается одним из самых важных видов деятельности в организациях. Для поддержки этого сложного процесса для отдельных лиц за последние два десятилетия были разработаны различные независимые автономные информационные системы, называемые системами поддержки принятия решений. Они определяются как компьютерные инструменты, используемые для поддержки принятия сложных решений и решения проблем.

Из-за такого сложного характера «проблемы», включая отсутствие непротиворечивых и полных данных и неопределенности, процесс поиска оптимальных решений не может быть ограничен решением математических задач оптимизации или выполнением сложных симуляций. Хотя многие промышленные системы были реализованы, в последние годы появилось чувство сомнения в их успешности. В основном это связано с тем, что способности пользователя не учитываются положительно. Соответствующие системы, разработанные в прошлом, в основном предназначены для помощи пользователям в использовании программ, которые ограничивают доступ пользователей к компьютеризированным моделям и вспомогательным системам. Действительно, современные системы поддержки принятия решений не интегрируют пользователя во весь процесс принятия решений. Эти системы предопределяют роли агентов, предоставляя системе роль чистого разрешения, в то время как пользователь ограничен задачами ввода данных или даже разрешения конфликтов [1]. В этой статье исследуется, что значит для системы поддержки принятия решений быть «интеллектуальной» с системной точки зрения. Несколько исследовательских сообществ изучили аспекты поведения интеллектуальных систем, но часто эти вклады являются лишь частью решения. Например, многие модели, алгоритмы и возможности рассуждения, основанные на знаниях, которые были созданы с помощью искусственных исследования интеллекта привели к важному вкладу в отстаиваемый

здесь подход к интеллектуальным системам. Другие алгоритмические работы, созданные в результате исследований системной инженерии, такие как интеллектуальный анализ данных, объединение данных, анализ решений и методы оптимизации, также внесли большой вклад. Эта статья представляет собой первый шаг в классификации характеристик, которые делают интеллектуальную систему поддержки принятия решений. Мы используем широкую структуру, чтобы включить вклад из многих различных областей, таких как искусственный интеллект, интеллектуальный анализ данных, хранение данных и разработка когнитивных систем. Изучая развернутые системы поддержки принятия решений, мы надеемся получить характеристики, которые могут направить будущие усилия по разработке. На рисунке показаны различные взаимосвязи системы принятия решений [2].

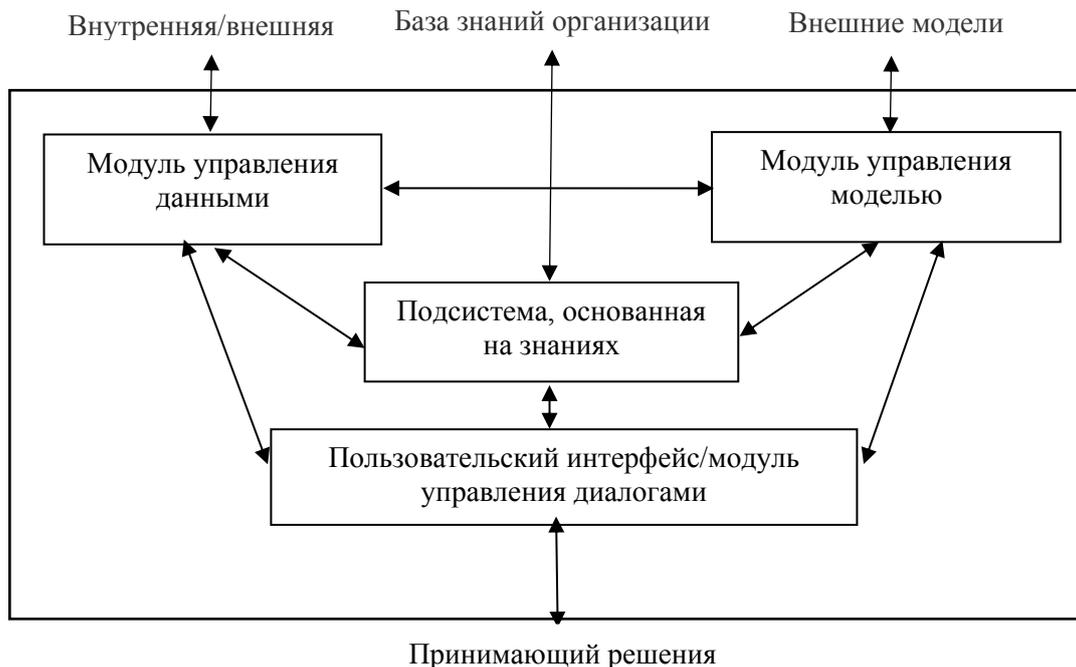


Рисунок 1. Различные взаимосвязности системы принятия решений

Функционирование современной интегрированной системы менеджмента определяется многими взаимосвязанными параметрами. Поэтому при использовании традиционных методов анализа и управления техническими процессами, скорее всего, не будет учитываться негативная сторона работы его структуры. Вероятно, это происходит, когда интегрированная система управления предпочитает простые, удобные, но всегда эффективные способы работы в своей текущей работе. Возможность создания системы раннего реагирования и предотвращения негативных процессов на местах за счет разработки умной системы поддержки принятия решений является важным аспектом управления сложными системами.

Целью работы является разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений как основного инструмента в решении задач налогового администрирования, использования данных, знаний о работе системы, субъективных и объективных моделей, описывающих различные виды деятельности. Чтобы разработать интеллектуальную компьютерную систему, необходимо собрать, организовать и использовать человеческие экспертные знания в некоторых узких областях; усовершенствовать вычислительную мощь мозга системы с помощью сложных алгоритмов, использующих сенсорную обработку, моделирование мира, генерацию

поведения, оценку ценности и глобальную коммуникацию; подсчитать количество информации и ценностей, которые система хранит в своей памяти [3].

Используя организационные принципы и методологию построения принятия решений, разработать систему поддержки принятия решений для решения задачи интеллектуального управления техническими процессами. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить основные компоненты разрабатываемой системы;
- формирование структуры интеллектуальной системы поддержки принятия решений;
- разработка алгоритмов поддержки принятия решений;
- оценка результатов и перспектив дальнейших исследований.

Заставить одну машину действовать разумно может быть гораздо менее полезно или важно, чем возможность сотрудничать в среде с другими интеллектуальными агентами, будь то люди или машины. Помимо способности разумно действовать изолированно, системе необходимо уметь общаться с другими, выявлять и исправлять ошибки и использовать в своих интересах способности других, так что общий «разум» или эффективность могут быть эмерджентным свойством системы. Все умные агенты работают над проблемой относительно скоординировано.

Таким образом, на примере интегрированных систем управления поддержка умных решений может способствовать повышению эффективности управления и снижению финансовых затрат. В технических процессах это создание интеллектуальной среды управления, формирование и внедрение экспертной системы с использованием базы знаний. Следует отметить, что использование интеллектуальных модулей управления в интегрированных системах управления остается наиболее оптимальным решением с точки зрения эффективности.

Интеллектуальные системы обычно представляют собой технические системы, основанные на хранящихся в системной памяти знаниях о программно-алгоритмическом обеспечении той или иной области и конкретных методах решения ее задач (это формализованные схемы человеческого мышления специалистов в данной области). Повторение и подражание творческим, интеллектуальным функциям человека есть его мыслительная способность [4].

Успешные системы поддержки принятия решений и их подсистемы должны действовать разумно и совместно в сложной области с потенциально высокими скоростями передачи данных и выносить суждения, которые моделируют самых лучших технических специалистов. Также крайне важно, чтобы техники-люди сохраняли контроль над окончательными суждениями, либо фокусируя систему на конкретных целях рассуждения, либо изменяя базовые знания, на которых основываются суждения системы. На данный момент наша работа выявила следующие атрибуты, которые представляют высокоуровневые характеристики успешных систем:

1. Интерактивность: система хорошо работает с другими базами данных и с пользователями-людьми, которые должны с ней работать, и позволяет этим агентам исследовать «пространство возможностей» на основе ограничений, вместо того, чтобы просто предоставлять одно «оптимальное» решение.

2. Обнаружение событий и изменений: система распознает и эффективно сообщает о важных изменениях и событиях.

3. Помощь в представлении: система представляет и передает информацию в убедительной, информативной и ориентированной на человека форме.

4. Обнаружение ошибок и восстановление: система проверяет типичные ошибки рассуждений, допущенные людьми. Кроме того, система имеет некоторые знания о

своих собственных ограничениях и проверяет ситуации, для которых она может быть не в полной мере способна.

5. Информация из данных: система использует интеллектуальные алгоритмические методы для обработки данных и генерации информации. Это означает как извлечение информации из больших объемов данных, так и предоставление инструментов для обработки небольших наборов данных, выбросов и других источников ошибок и путаницы.

6. Возможности прогнозирования: система может прогнозировать влияние действий на будущую производительность. Обратите внимание, что это означает прогнозирование как будущего состояния окружающей среды, так и изменений состояний, вызванных различными решениями [5].

В дополнение к прогнозированию состояния системы окружающей среды, система также может прогнозировать состояния пользователя и системы. Например, он может прогнозировать как изменения пользовательских предпочтений, так и изменения своего внутреннего состояния по мере поступления новой информации. Для этого он должен иметь возможность указать желаемые (номинальные) уровни производительности, а затем показать, как они могут измениться. Многие, но не все успешные системы поддержки принятия решений обладают некоторыми возможностями прогнозирования. В эту характеристику мы включаем как стратегические, так и тактические или оперативные возможности. Стратегическое прогнозирование включает в себя оценку воздействия крупных изменений как внутри предприятия, так и вне его. Например, прогнозирование влияния строительства нового завода, перемещения сервисного предприятия или реакции на выход конкурента на новый рынок. Тактическое предсказание включает в себя изменения в операциях и обычно заглядывает в ближайшее будущее. Этот тип прогнозирования поддерживает такие действия, как планирование, покупка и управление запасами для коммерческих предприятий. Для государственных учреждений тактическое прогнозирование поддерживает аналогичные действия, но также включает операции в чрезвычайных ситуациях и предоставление услуг.

Количественную оценку систем принято производить с помощью числовых характеристик. При этом каждая из числовых характеристик, используемых для оценки поведения и свойств исследуемой системы, должна удовлетворять следующим основным требованиям: вычислимость, наглядность, представительность, сравнимость, интерпретируемость.

## **Выводы**

Использование современных методов разработки программного обеспечения и систем моделирования позволяет создавать интеллектуальные системы, поддерживающие универсальное принятие решений, что помогает организовывать новые потоки данных, анализировать их и добиваться бесконечного развития с точки зрения достижения желаемого уровня управления производством.

## **Литература**

1. Замула А.А. Нечеткая модель управления качеством банковских услуг/А.А. Замула//Искусственный интеллект. – 2014. № 2. С. 89-94.
2. Игнатьева А.В. Исследование систем управления/А.В. Игнатьева, М.М. Максимов. – М.: УНИТИДАНА, 2012. 157 с.

3. Kamilov M., Hudayberdiev M.Kh., Khamroev A. The construction of local convex hull on the task of pattern recognition//Procedia Computer Science. 2021. Vol. 186. (№ 3, Scopus, IF=3).
4. Koraboshev O.Z., Alimkulov N.M. Models and algorithms of intelligent decision support systems for technical processes//European journal of science archives conferences series/Konferenzreihe der europäischen Zeitschrift für Wissenschaftsarchive. Aachener, Germany 2022. DOI prefix: 10.5281/zenodo.5889885.
5. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах/Под ред. Вагина В.Н., Поспелова Д.А. М.: Физматлит, 2004.

УДК 004.94

### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА СВЕРХПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ ПОЛУСФЕРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК**

#### **IMPROVING THE ACCURACY OF CALCULATING THE DURATION OF THE PROCESS OF SUPERPLASTIC FORMING OF A ROUND MEMBRANE**

<sup>1</sup>Тулупова О.П., <sup>1</sup>Гумерова К.Р., <sup>1</sup>Ганиева В.Р., <sup>2</sup>Круглов А.А., <sup>1</sup>Еникеев Ф.У.,  
<sup>1</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия  
<sup>2</sup>Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,  
г. Уфа, Республика Башкортостан, 450001, Россия

O.P. Tulupova<sup>1</sup>, C.R. Gumerova<sup>1</sup>, V.R. Ganieva<sup>1</sup>, A.A. Kruglov<sup>2</sup>, F.U. Enikeev<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Ufa State Petroleum Technological University,  
Kosmonavtov Str., 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450064, Russia  
<sup>2</sup>Institute for Metals Superplasticity Problems, Russian Academy of Sciences,  
Ufa 450001 Russia

e-mail: box\_mail\_2011@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлена методика расчета продолжительности процесса сверхпластической формовки полусферы в цилиндрическую матрицу. Предлагаемая методика учитывает начальный участок нагружения при формообразовании полусферы, а также значение входного радиуса матрицы. В работе были проанализированы три варианта процесса: 1) сверхпластическая формовка при постоянном давлении; 2) сверхпластическая формовка при постоянной скорости деформации; 3) сверхпластическая формовка при линейном законе нагружения. Для решения краевой задачи механики деформируемого твердого тела применяются: приближенное аналитическое решение краевой задачи в рамках основных предположений безмоментной теории оболочек; численное решение краевой задачи без принятия упрощающих гипотез находится методом конечно-элементного моделирования с использованием программного комплекса ANSYS 10ED. По контуру и на контакте матрицы с листовой заготовкой рассматривается условие свободного скольжения. Экспериментальные данные сопоставляются с численным решением краевой задачи теории ползучести полученном в ANSYS 10ED. Значения реологических параметров определяли по результатам технологических экспериментов по формовке

полусфер из листовых заготовок промышленного титанового сплава ВТ6 (Ti-6Al-4V). Показано, что использование предлагаемой методики позволяет существенно повысить точность расчета продолжительности сверхпластической формовки полусферических оболочек при разных режимах нагружения.

**Abstract.** The paper presents a method for calculating the technological parameters of the process of superplastic forming of a hemisphere into a cylindrical die. The suggested method takes into account the value of the inert gas pressure at the initial site of the hemisphere forming, as well as the value of the input radius of the die. Three loading modes were analyzed in the work: 1) the formation of a constant gas pressure; 2) the formation of a constant deformation rate; 3) the linear pressure law. To solve the boundary value problem of deformable solid mechanics, the following methods are used: approximate analytical solution of the boundary value problem within the framework of the basic assumptions of the instantaneous shell theory; numerical solution of the boundary value problem without accepting simplifying hypotheses is found by finite element modeling using ANSYS 10ED. Along the contour and on the contact of the matrix with the sheet, the condition of free sliding is considered. The experimental data are compared with the numerical solution of the boundary value problem of creep theory obtained in the ANSYS 10ED finite element modeling program. The values of rheological parameters were determined based on the results of several technological experiments of superplastic forming of hemispheres under gas pressure from sheet blanks of industrial titanium alloy VT6 (Ti-6Al-4V). It is shown that the use of the proposed technique can significantly improve the accuracy of forecasting the duration of superplastic forming of hemispheres under the influence of inert gas pressure.

**Ключевые слова:** сверхпластическая формовка, полусферическая оболочка, постоянное давление, реологические параметры, моделирование формовки полусферы, конечно-элементное моделирование, ANSYS.

**Keywords:** superplastic forming, hemispherical shell, constant pressure, rheological parameters, bulge forming of domes modeling, finite element modeling, ANSYS.

## Введение

Процесс сверхпластической формовки (СПФ) представляет интерес в исследовании механики сверхпластичности.

Работы с информацией о том, что некоторые металлические материалы способны проявлять значительные пластические деформации появились еще до официального появления термина сверхпластичность (СП).

В своей работе Розенгейн и др. [1] установили, что величина удлинения достигает сотни процентов до разрыва исследуемых образцов, а при медленном нагружении образцы вели себя как вязкая жидкость.

Интерес в промышленных масштабах к процессу СПФ возник после выхода работы Бэкофена с коллегами в 1964 году [2].

Целью работы является изучение влияния величины давления инертного газа на начальном участке формовки полусферы, а также значения входного радиуса матрицы на точность прогнозирования продолжительности формовки полусфер при сверхпластической формовке под действием давления инертного газа.

## Теоретический анализ

В работе для построения математической модель процесса СПФ полусферы применяется наиболее широко используемая в литературе степенная модель сверхпластичности [2]:

$$\xi = K\sigma^m \quad (1)$$

где:  $\sigma$  – напряжение течения;  
 $K, m$  – реологические параметры;  
 $\xi$  – скорость деформации.

Рассмотрим формообразования листовой заготовки с начальной толщины  $s_0$  в цилиндрическую матрицу радиуса  $R_0$  с нулевым радиусом входа  $r_0$ , как показано на рисунке 1.

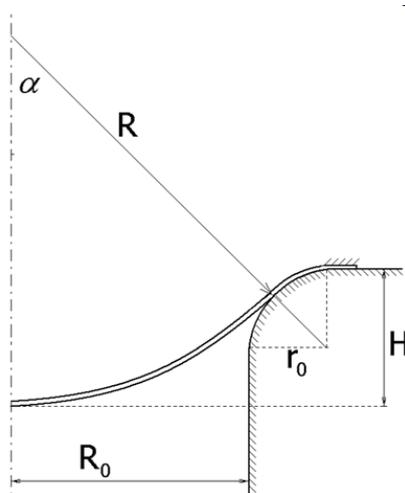


Рисунок 1. Схема формообразования листа заготовки в цилиндрическую матрицу

В схеме на рисунке 1 применены следующие обозначения:

$H$  – высота купола;

$R$  – текущий радиус купола;

$R_0$  – радиус цилиндрической матрицы;

$r_0$  – входной радиус матрицы;

$\alpha$  – угол между осью симметрии и текущим радиусом купола, проходящим через центр кривизны входного радиуса матрицы.

Упрощенный подход к анализу процесса СПФ листа заготовки в цилиндрическую матрицу был предложен в работе [3]. Подход с учетом величины значения входного радиуса матрицы был разработан позже [4, 5].

При математическом моделировании процесса СПФ полусферы приняты следующие допущения:

1) скорость деформации и ускорения относительно малы, потому рассматриваются уравнения равновесия вместо уравнений движения;

2) допускается, что толщина оболочки  $s_0$  достаточно мала по сравнению с ее радиусом:  $s_0/R_0 \ll 1$ . Тогда предполагается, что в оболочке при формовке возникают напряжения, постоянные по толщине, следовательно, изгиб оболочки отсутствует и

можно пренебречь изгибным эффектом и применить основные уравнения безмоментной теории оболочек;

3) оболочка зажата по контуру и на контакте листа заготовки и матрицы принимается условие свободного скольжения.

Рассмотрим следующий режим подачи давления, представленный на рисунке 2.

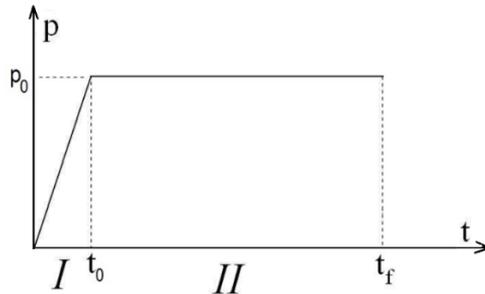


Рисунок 2. Зависимость давления  $p$  от времени формовки  $t$

где  $t_0$  – время подачи давления газа на начальной стадии;

$t_f$  – общее время СПФ;

$p$  – давление газа.

Как показано на рисунке 2, реальный режим нагружения и, соответственно, процесс СПФ имеет две стадии:

1) на первой стадии (при  $0 < t < t_0$ ) давление линейно возрастает в соответствии с правилом  $p(t) = p_0 t / t_0$  до некоторого промежуточного времени  $t_0$ .

2) на второй стадии (при  $t_0 < t < t_f$ ) давление газа постоянно ( $p_0 = \text{const}$ ).

Длительность формообразования до произвольной высоты  $H$  при линейном возрастании величины давления газа в  $(1 + 1/m)$  раз больше по сравнению со временем формовки при подаче постоянной величины давления газа, равной значению давления в конце формовки.

Рассмотрим данные двух независимых технологических экспериментов, где начальные стадии  $t_{01}$  и  $t_{02}$ , общее время формования  $t_{f1}$  и  $t_{f2}$ , давление  $p_1$  и  $p_2$ . Тогда в случае подачи постоянного давления газа имеют место следующие соотношения:

$$t_1 = t_{01} / (1 + 1/m) + \Delta t_1, \text{ где } \Delta t_1 = t_{f1} - t_{01} \quad (2)$$

$$t_2 = t_{02} / (1 + 1/m) + \Delta t_2, \text{ где } \Delta t_2 = t_{f2} - t_{02} \quad (3)$$

Для вычисления параметров  $K$  и  $m$ , входящих в модель (1), определим величину параметра  $m$  по результатам двух тестовых формовок при постоянном давлении газа, подставив в выражение из работы [3] выведенные выше соотношения (2) и (3), получим:

$$m = \frac{\ln(p_2 / p_1)}{\ln(t_1 / t_2)} = \frac{\ln(p_2 / p_1)}{\ln\left(\frac{t_{01} / (1 + 1/m) + \Delta t_1}{t_{02} / (1 + 1/m) + \Delta t_2}\right)} \quad (4)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – время формовки листовой заготовки до одной и той же высоты,  $H$  при постоянном давлении  $p = p_1 = \text{const}$  и  $p = p_2 = \text{const}$  соответственно, то есть  $H(t_1) = H(t_2)$ .

Решить уравнение (4) можно численными методами.

Определить значение второго реологического параметра  $K$  можно из выражений:

$$K_1 = \frac{p_1(R_0 + r_0)}{2s_0} \cdot \left[ \frac{t_1}{2I'_m(\alpha)} \right]^m \quad (5)$$

$$K_2 = \frac{p_2(R_0 + r_0)}{2s_0} \cdot \left[ \frac{t_2}{2I'_m(\alpha)} \right]^m \quad (6)$$

где  $R_0$  – радиус матрицы;  
 $r_0$  – входной радиус матрицы;  
 $s_0$  – начальная толщина листовой заготовки,  
 $I'_m$  – функция двух переменных  $m$  и  $\alpha$ .

### Экспериментальные данные и конечно-элементное моделирование

Для расчетов по методике применялись два набора экспериментальных данных  $\{t_i, p_i, H\}$ ,  $i=1,2$ , где  $t_i$  – продолжительность формовки полусферы при постоянном давлении газа  $p_i = \text{const}$  до высоты купола  $H$ .

Апробация предлагаемой методики проводилась на примере двух наборов экспериментальных данных, полученных в результате сверхпластических формовок полусфер из сплава ВТ6 [6] приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные значения, полученные в результате сверхпластических формовок полусфер при температуре 750 °С из листовой заготовки сплава ВТ6 толщиной 1 мм в цилиндрическую матрицу радиусом 35 мм и входным радиусом 1 мм

№	Давление газа, МПа	Общее время СПФ, с	Время подачи давления на начальной стадии, с	Время СПФ, с
1	3	360	55	305
2	2.5	510	40	470

В работе параллельно расчетам по аналитическим формулам проводится и конечно-элементное моделирование рассматриваемого процесса с использованием учебной версии программы ANSYS 10ED. Можно встретить множество публикаций, посвященных построению и анализу моделей процесса формовки изделий в состоянии СП с использованием программных пакетов конечно-элементного моделирования, например, ANSYS [4-8], ABAQUS [9, 10].

В результате аналитических расчетов с экспериментальными данными сплава ВТ6 (см. таблицу 1) были получены следующие значения реологических параметров, которые в дальнейшем применялись при построении конечно-элементной модели в ANSYS:  $m=0.451$ ,  $K=1454.035$  МПа·с<sup>m</sup>.

Конечно-элементное моделирование проводилось с использованием модуля Structural, входящего в программу ANSYS. С целью решения краевой задачи теории ползучести, в качестве входных данных применялись полученные в результате аналитических расчетов значения реологических параметров  $m$  и  $K$ . На рисунке 3 представлен результат компьютерного моделирования процесса СПФ.

Результаты численных расчетов продолжительности формовки полусфер Structural/ANSYS при разных величинах давлений сведены в таблицу 2.

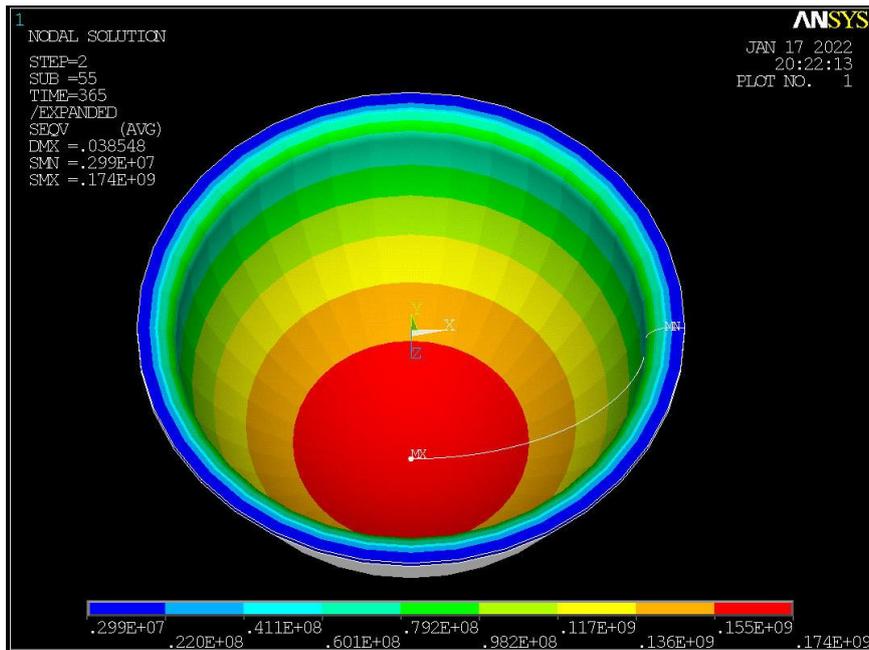


Рисунок 3. Распределение интенсивности напряжений по Мизесу при СПФ полусферы из сплава ВТ6

Таблица 2 – Сопоставление результатов конечно-элементного моделирования со значениями, которые были получены в результате эксперимента [6]

Давление газа, МПа	Время СПФ, с <i>Эксперимент</i>	Время СПФ, с <i>Расчет с учетом входного радиуса</i>	Время СПФ, с <i>Расчет с учетом входного радиуса и начального участка нагружения</i>	Время СПФ, с <i>Расчет без учета входного радиуса и начального участка нагружения</i>
3	360	369,3	359,6	378,5
2,5	510	523,0	513,6	536,3
Погрешность, %				
3	360	~2,6	~0,1	~5,1
2,5	510	~2,6	~0,7	~5,2

### Выводы

Предлагаемая в работе упрощенная математическая модель процесса сверхпластической формовки полусферы является продолжением работы [3], но в отличие от нее, в предлагаемой методике расчета продолжительности формообразования учитывается начальный участок повышения давления, поскольку в реальном процессе сверхпластической формовки практически невозможно создать давление газа мгновенно. Кроме того, учитывается величина входного радиуса цилиндрической матрицы, поскольку кромка матрицы не должна быть острой, поскольку это может привести к опасной локализации деформации.

Показано, что продолжительность формовки полусфер при постоянном давлении инертного газа может быть вычислена с погрешность не более 1 % в результате решения краевой задачи теории ползучести, если учитывать входной радиус матрицы, время подачи давления на первой стадии процесса и общее время процесса формообразования полусферы.

**Литература**

1. Rosenhain W., Haughton J.L., Bingham K.E. Zinc Alloys with Aluminium and Copper//J. Inst. Metals. 1920. Vol. 23. P. 261-324.
2. Barnes A.J. Superplastic Forming 40 Years and Still Growing. Journal of Materials Engineering and Performance. 2007. 16(4). P. 440-454.
3. F.U. Enikeev, A.A. Kruglov. An analysis of the superplastic forming of a thin circular diaphragm//International Journal of Mechanical Sciences. 1995. 37(5). P. 473-483.
4. Tulupova O., Ganieva V., Kruglov A., Enikeev F. A new method of identification of constitutive equations according to the results of technological experiments//Letters on materials. 2017. 7(1). P. 68-71.
5. Kruglov A.A., Tulupova O.P., Olimpieva N.V., Ganieva V.R., Enikeev F.U.//IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. and Eng. 1008, 012050 (2020).
6. Ganieva V., Kruglov A., Lutfullin R., Rudenko O., Enikeev F. Computer simulation of superplastic forming of a three-sheet structure containing an ultrafine-grained core//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. 447.
7. Ganieva V.R., Tulupova O.P., Enikeev F.U., Kruglov A.A. Modeling of superplastic structural materials//Russian Engineering Research. 2017. 37(5). P. 401-407.
8. O.P. Tulupova, V.R. Ganieva, A.A. Kruglov, F.U. Enikeev. Improving the accuracy of finite element modeling of superplastic hemisphere forming//IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. and Eng. 2018. 447.
9. Firas Jarrar, Reem Jafar, Olga Tulupova, Farid Enikeev, Naser Al-Huniti, Constitutive modeling for the simulation of the superplastic forming of AA5083//Materials Science Forum. 2016. 838-839. P. 512-517.
10. Jarrar Firas S., Louis G. Hector Jr., Khraisheha Marwan K., Bowerd F. New approach to gas pressure profile prediction for high temperature AA5083 sheet forming//Journal of Materials Processing Technology. 2010. Vol. 210. P. 825-834.

УДК 004

**ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ БАЗЫ ЗНАНИЙ  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ****ONTOLOGICAL APPROACH TO CONSTRUCTION KNOWLEDGE BASES  
OF A SPECIALIZED AUTOMATED INFORMATION SYSTEM**

Губарев В.В.,

Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С.М. Штеменко,  
г. Краснодар, Российская Федерация

V.V. Gubarev,

Krasnodar Higher Military School named after Army General S.M. Shtemenko,  
Krasnodar, Russian Federation

e-mail: vladuha79@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения онтологического подхода для формирования базы знаний специализированной автоматизированной

информационной системы, реализующей поддержку принятия решений должностных лиц, занимающихся вопросами обеспечения безопасности информации, при осуществлении мероприятий по допуску сотрудников организаций (граждан) к информации ограниченного доступа. Актуальность разработки подобного рода систем обусловлено стоящими задачами по внедрению во все сферы деятельности современных технологий, созданию на их основе информационно-аналитических систем и достижением тем самым «цифровой зрелости» государственных органов управления. Показано, что на основе разработанной онтологии процесса допуска сотрудников организации к информации ограниченного доступа, может быть построена соответствующая база знаний, которая в свою очередь позволит создать соответствующую программную реализацию специализированной автоматизированной информационной системы. Представлен разработанный в виде ER-диаграммы вариант онтологии базы знаний рассматриваемой системы. В работе определены концепты и их атрибуты, а также построены связи между ними. Применение онтологического подхода обеспечит формальное представление системы понятий предметной области процесса доступа граждан к информации ограниченного доступа, формирование базы знаний разрабатываемой специализированной автоматизированной информационной системы, в т.ч. интеграцию разнородной информации, согласованность семантической модели процесса, а также поддержку требуемой функциональности системы.

**Abstract.** The article considers the possibility of using an ontological approach to form a knowledge base of a specialized automated information system that implements decision-making support for officials dealing with information security issues when implementing measures to allow employees of organizations (citizens) to access restricted information. The relevance of the development of such systems is due to the challenges of introducing modern technologies into all spheres of activity, creating information and analytical systems based on them and thereby achieving the “digital maturity” of government bodies. It is shown that on the basis of the developed ontology of the process of admitting employees of an organization to restricted access information, an appropriate knowledge base can be built, which in turn will allow creating an appropriate software implementation of a specialized automated information system. A variant of the ontology of the knowledge base of the system under consideration, developed in the form of an ER diagram, is presented. The paper defines concepts and their attributes, as well as links between them. The application of the ontological approach will provide a formal representation of the system of concepts of the subject area of the process of citizens' access to restricted information, the formation of a knowledge base of a specialized automated information system being developed, including integration of heterogeneous information, consistency of the semantic model of the process, as well as support for the required functionality of the system.

**Ключевые слова:** онтология, база знаний, специализированная автоматизированная информационная система.

**Keywords:** ontology, knowledge base, specialized automated information system.

Одними из основных задач развития системы государственного управления определено широкое применение новых технологий и создание на их основе информационно-аналитических систем. Президентом Российской Федерации поставлена задача по достижению «цифровой зрелости» [1-2].

Важнейшим направлением деятельности различных организаций является обеспечение безопасности информации ограниченного доступа (далее – ИОД) [3]. В

основе данной деятельности лежит система (процесс) допуска граждан к ИОД (целью функционирования которой является исключение работы (ознакомления) с ИОД лицами, в отношении которых не выполнен комплекс организационно-технических мероприятий, включающих в себя, в том числе, изучение биографических и медицинских данных, морально-деловых качеств, оформление договорных обязательств др.) и представляющая собой подсистему общей системы обеспечения безопасности информации организации.

Проведенный анализ показал, что сбор, обработка и анализ документов, необходимых для принятия уполномоченными должностными лицами обоснованных решений, в рамках реализации возложенных на систему функций, представляет собой трудоемкий процесс, требующий существенных временных затрат на обработку большого объема разнородной информации.

В настоящее время в различных государственных и коммерческих организациях осуществляется активное внедрение различных специализированных автоматизированных информационных систем (далее – САИС), реализующие отдельные функции системы допуска к ИОД, обеспечивающие лиц, принимающих решения необходимой информацией и тем самым повышающие эффективность проводимых мероприятий как по допуску граждан к ИОД в частности, так и обеспечению безопасности информации в целом (рисунок 1).

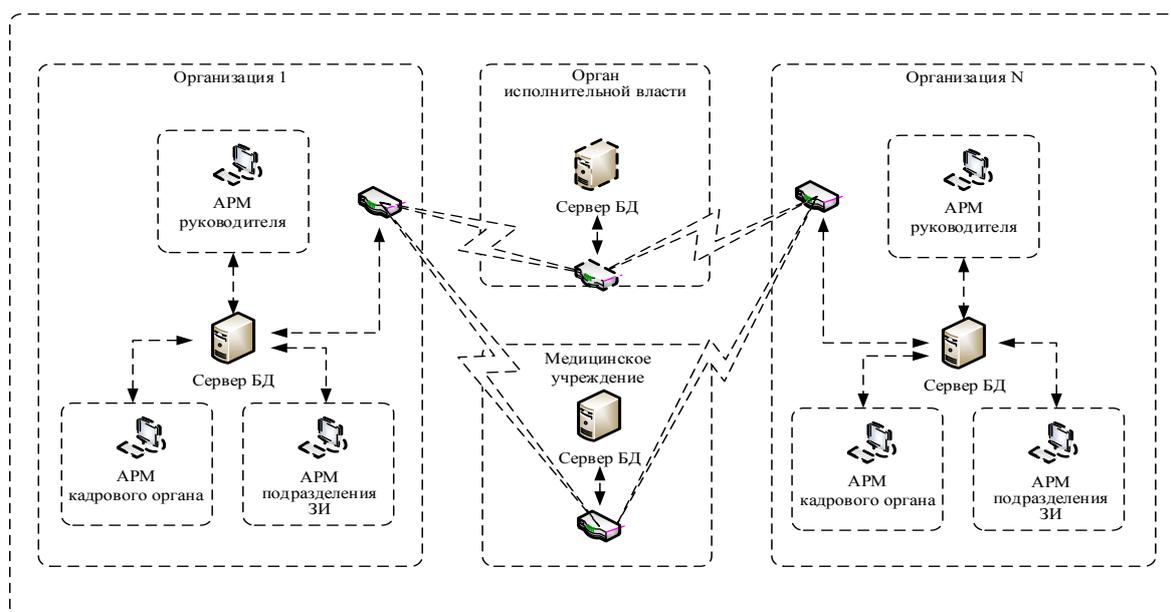


Рисунок 1. Специализированная автоматизированная информационная система допуска к ИОД

Основными задачами САИС являются:

- определение и реализация способов оформления допуска граждан к ИОД;
- непрерывный полноценный мониторинг информационного пространства;
- определение текущих и критических значений показателей, влияющих на возможность работы граждан с ИОД;
- выдача предложений лицу, принимающему решения, в части касающейся допуска к ИОД.

По сути рассматриваемая САИС представляет собой систему поддержки принятия решений должностных лиц в области обеспечения безопасности информации, которая реализуется в виде программы.

Основой САИС является ее база знаний, содержащая всю информацию, используемую системой в процессе решения задач, связанных с допуском граждан к ИОД. Базисом самой базы знаний является онтология, которая выражается в терминах формальных структур на семантическом уровне [4].

Применение онтологии процесса допуска к ИОД позволит обеспечить интеграцию разнородной информации, участвующей в процессе, согласованность семантической модели процесса и снижению роли человеческого фактора.

Основой архитектуры САИС является онтология процесса, содержащая структуры данных, представляющие собой модели знаний системы допуска, используемые для построения моделей начальных ситуаций.

Отношения представляют собой тип взаимоотношений между терминами, т.е. онтология содержит совокупность терминов и правила, на основании которых формируются достоверные утверждения о состоянии исследуемой предметной области.

Методика построения онтологии САИС предусматривает следующие этапы [5]:

- определение цели и область применения САИС;
- непосредственное построение онтологии САИС;
- уяснение полного понимания структуры, циркулирующей в САИС информации;
- обеспечение использования знаний в САИС допуска граждан к ИОД.

Основой онтологии САИС являются:

- общий формат представления данных модели САИС, позволяющий производить формализацию знаний;
- использование фиксированного перечня базовых понятий («сущность», «отношение», «атрибут», «роль»);
- базовая модель процесса допуска к ИОД.

Формально онтологическая модель САИС представляет собой упорядоченную тройку вида:

$$S = \langle P, O, F \rangle \quad (1)$$

где  $P$  – конечное множество терминов предметной области, которую представляет онтология  $S$ ;

$O$  – конечное множество отношений между терминами заданной предметной области;

$F$  – конечное множество функций интерпретации заданных на отношениях онтологии  $S$ .

Для разработки онтологии процесса допуска граждан к информации ограниченного доступа может быть использована нотация «сущность-связь» [6], разработанная в виде ER-диаграммы (рисунок 2).

Для предметной области допуска к ИОД ключевыми понятиями будут являться гражданин (тот, кого допускают к ИОД), и те, кто его допускает к ИОД (руководитель, подразделение режима, орган безопасности, медицинское учреждение, кадровый орган).

Отношения между сущностями представляют собой подготовку, отправку, анализ и др.

## Выводы

Формирование базы знаний специализированной автоматизированной информационной системы допуска граждан к информации ограниченного доступа может быть осуществлено с использованием онтологического подхода. Для разработки онтологии предлагается использовать нотацию «сущность-связь», представленную в виде ER-диаграммы.



УДК 004.94

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ  
НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

**MODELS AND ALGORITHMS FOR FORECASTING  
THE SPREAD OF FOREST FIRES  
BASED ON MONITORING THE TERRITORY OF ITS OCCURRENCE**

Лапин А.Н., Минасов Ш.М., Широкова А.А.,  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,  
г. Уфа, Российская Федерация

A.N. Lapin, S.M. Minasov, A.A. Shirokova,  
“Ufa State Aviation Technical University”,  
Ufa, Russian Federation

e-mail: meccos160@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены модели и алгоритмы прогнозирования распространения фронта лесных пожаров на основе мониторинга территории его возникновения при помощи систем БПЛА с установленными тепловизионными камерами инфракрасного спектра. Описана проблематика и актуальность проводимого исследования на основании данных МЧС России. Определена основная цель прогнозирования на основе мониторинга территории возникновения лесного пожара. Приведена одна из возможных схем реализации системы мониторинга и прогнозирования. Описаны сценарии вариантов реализации системы обработки изображений в зависимости от аппаратных и программных особенностей. Приведен алгоритм работы системы обработки полученных в результате мониторинга снимков в инфракрасном спектре. Описан принцип расчета скорости распространения фронта лесного пожара по вектору области интереса. Рассмотрена и математически описана проблема возникновения пиксельной погрешности, связанной с временем выдержки снимка. Найдена численная зависимость пиксельной погрешности с характеристиками камеры, вектором скорости и высотой полета БПЛА. Произведен расчет рекомендуемых скорости и высоты полета БПЛА в зависимости от желаемой погрешности выдержки снимка при заданных характеристиках тепловизионной камеры инфракрасного спектра с учетом требований методических указаний Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

**Abstract.** The article discusses models and algorithms for predicting the spread of the front of forest fires based on monitoring the territory of its occurrence using UAV systems with installed thermal imaging cameras of the infrared spectrum. The problems and relevance of the conducted research based on the data of the Ministry of Emergency Situations of Russia are described. The main purpose of forecasting based on monitoring of the territory of occurrence of a forest fire is determined. One of the possible schemes for the implementation of the monitoring and forecasting system is given. Scenarios of options for implementing an image processing system depending on hardware and software features are described. The algorithm of operation of the system for processing images obtained as a result of monitoring in the infrared spectrum is given. The principle of calculating the propagation velocity of a forest fire

front along the vector of the area of interest is described. The problem of the occurrence of pixel error associated with the exposure time of the image is considered and mathematically described. The numerical dependence of the pixel error with the characteristics of the camera, the velocity vector and the altitude of the UAV flight is found. The recommended UAV flight speed and altitude are calculated depending on the desired exposure error of the image with the specified characteristics of the infrared thermal imaging camera, taking into account the requirements of the methodological guidelines of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation.

**Ключевые слова:** мониторинг, природные пожары, лесные пожары, мониторинг, прогнозирование, алгоритмы распространения.

**Keywords:** monitoring, wildfire, forest fires, monitoring, forecasting, propagation algorithms.

Обширные лесные территории являются одной из ключевых особенностей Российской Федерации [1]. Тем не менее, по подсчетам экспертов, каждый год лесные пожары наносят ущерб на десятки миллиардов рублей [2]. От огня страдают не только сами лесные массивы, но и близлежащие населенные пункты [3, 4]. В качестве меры заблаговременного предупреждения населения и уточнения времени достижения фронта огня предлагается использование систем прогнозирования распространения лесных пожаров на основе мониторинга территории его возникновения [5]. Ключевым звеном в работе этой системы являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), с помощью которых происходит мониторинг местности [6]. На борту БПЛА установлена тепловизионная камера, которая производит съемку в инфракрасном спектре, а также бортовой компьютер, который обрабатывает полученную установленными сенсорами информацию и передает ее по беспроводным линиям связи в центральный узел.

Система мониторинга представляет из себя следующий набор узлов (рисунок 1):

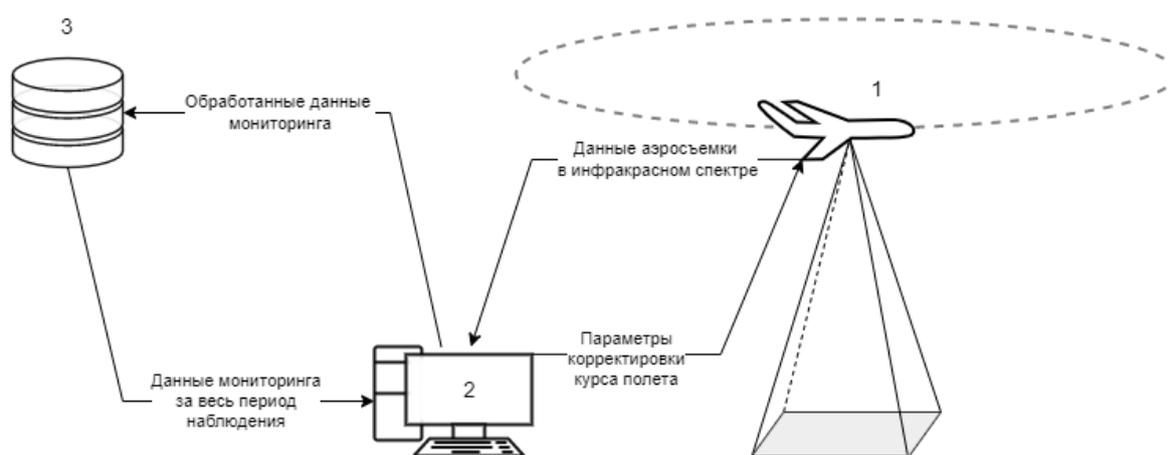


Рисунок 3. Схема системы мониторинга

1 – один или несколько БПЛА. Сбор, первичная обработка и отправка информации;

2 – центральный узел. Получение и обработка информации с БПЛА, процесс прогнозирования и выдачи результатов;

3 – база данных. Сбор, хранение и предоставление всей необходимой для процесса мониторинга информации.

Основной задачей прогнозирования является заблаговременное предупреждение населенных пунктов, фермерских полей и других областей интереса о времени подхода фронта пожара. Одним из методов анализа и прогнозирования скорости распространения фронта лесного пожара является построение векторов, проходящих через геометрический центр возгорания, текущего фронта пожара и геометрического центра области интереса. Во время полета БПЛА выполняется фотосъемка периметра пожара в инфракрасном спектре. В зависимости от установленного бортового компьютера и пропускной способности линий связи отправка данных может происходить одним из сценариев:

1. обработка изображения «на лету» и отправка пакетов данных, содержащих только координаты точек с повышенной температурой. Необходима высокая производительность бортового компьютера БПЛА. Низкая нагрузка на линии связи;

2. отправка полученного снимка целиком без обработки и сжатия. Значительная нагрузка на линии связи. Нет необходимости в высокой производительности бортового компьютера БПЛА.

Как можно заметить, у каждого из сценариев есть свои достоинства и недостатки, поэтому его выбор зависит от аппаратных, программных и других факторов разрабатываемой системы.

Рассмотрим подробнее этапы работы системы обработки изображений (рисунок 2).

1. Получение снимка по беспроводным линиям связи с БПЛА.

2. Для наиболее точного определения границ фронта пожара полученный снимок проходит геометрическую коррекцию, очистку от шумов, а также настройку контрастности и яркости.

3. Изображение рекурсивно разбивается на квадратные фрагменты, для каждого из которых происходит поиск точек повышенной температуры. Глубина поиска и максимальное количество фрагментов зависит от необходимой точности позиционирования фронта пожара. Количество искомым точек задается автоматически, исходя из полученных данных или вручную оператором до начала анализа изображения.

4. Происходит фильтрация найденных точек и поиск выбросов значений. Ошибочные данные не включаются в дальнейшую работу системы.

5. Координаты точек, прошедших фильтрацию, отправляются в базу данных вместе с временной отметкой регистрации снимка.

6. Запрашиваются все точки из базы данных и выполняется перерасчет векторов скорости распространения фронта лесного пожара.

7. На основе архивных данных дистанционного зондирования производится анализ и последующая классификация прилегающей местности.

8. На основе полученных данных с предыдущих двух этапов производится прогнозирование времени достижения фронта лесного пожара области интереса с учетом типа местности. Например, если на пути распространения пожара есть крупный водоем, то огонь не сможет пройти в данной местности напрямую.

В случае реализации системы обработки изображения «на лету» пункты 2-4 выполняются на бортовом компьютере БПЛА.

На рисунке 3 представлен пример снимка в видимом спектре [7]. Пример обработанного изображения в инфракрасном спектре с наложением данных представлен на рисунке 4. Геометрический центр пожара отмечен точкой О. По вектору интереса во время каждого пролета БПЛА по периметру фронта пожара произошло определение точек с повышенной температурой с внесением их в базу данных ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ). На основании полученных данных производится прогнозирование скорости распространения лесного пожара.

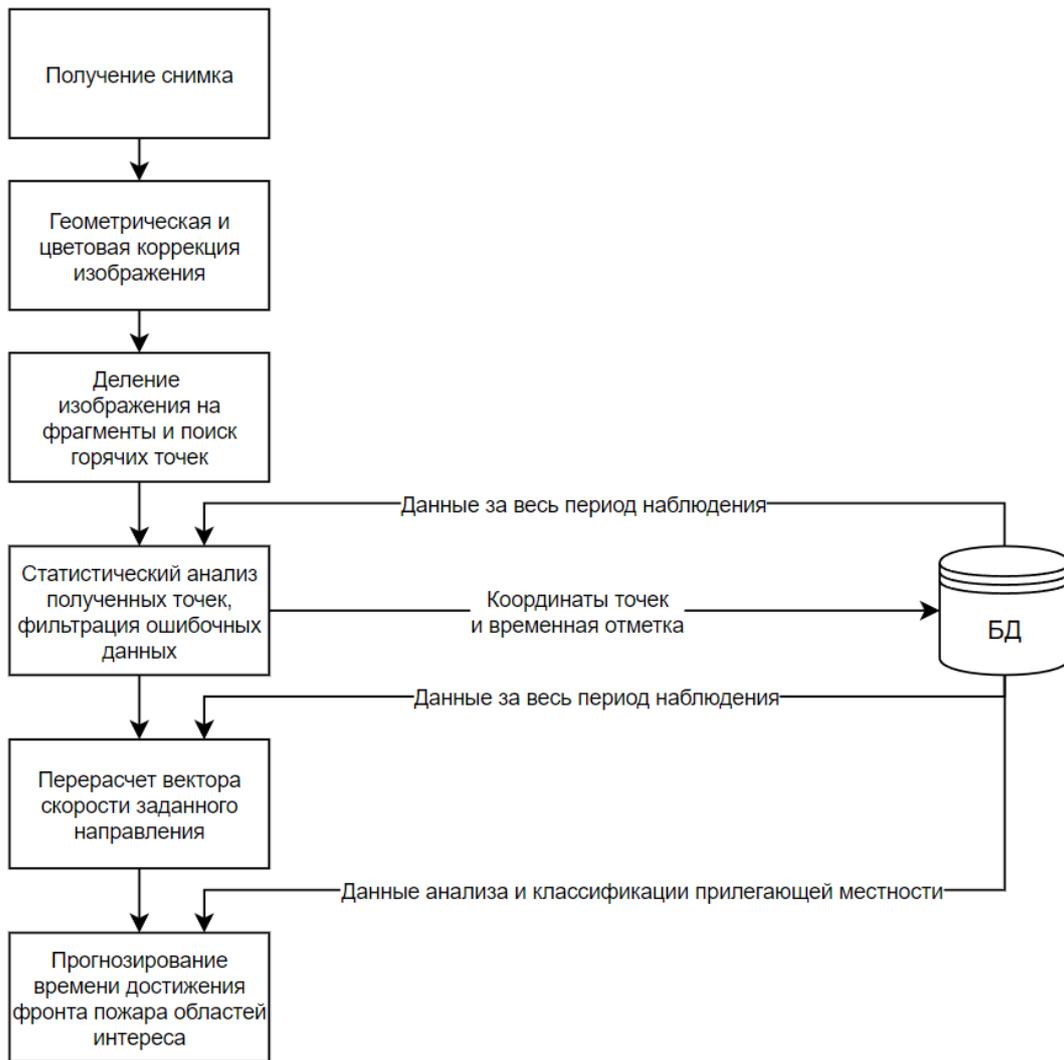


Рисунок 4. Схема работы системы обработки изображений



Рисунок 5. Снимок в видимом спектре

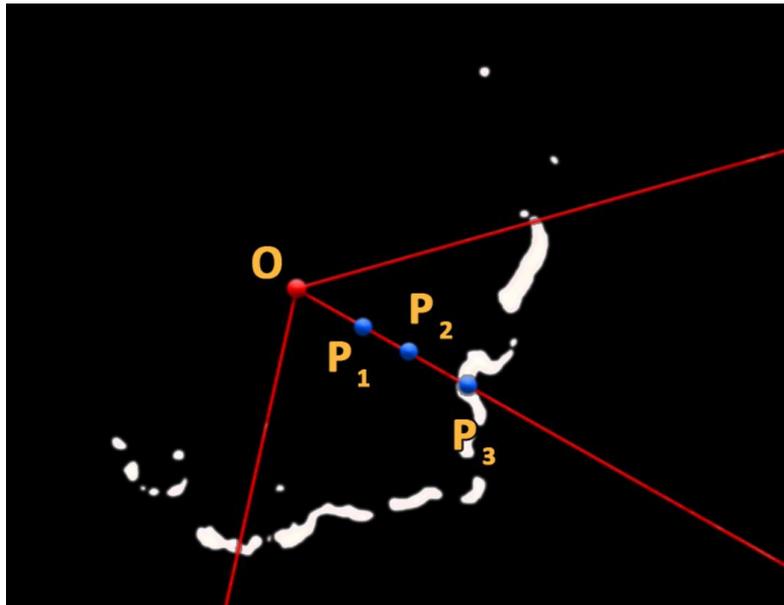


Рисунок 6. Пример обработки изображения в ИК-спектре

Одной из проблем аэрофотосъемки с БПЛА является наличие эффекта размытия снимка в движении. За промежуток выдержки снимаемых данных ЛА может преодолеть значительное расстояние, что отрицательно скажется на качестве изображения в виде размытия растровой сетки. Для парирования этого эффекта была разработана математическая модель пиксельной погрешности выдержки снимка при заданных характеристиках оптики камеры и параметров полета БПЛА:

$$\alpha = 2 * \arctg\left(\frac{d_1}{2f}\right), \quad \beta = 2 * \arctg\left(\frac{d_2}{2f}\right),$$

$$a = 2 * (H + f) * \tg\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad b = 2 * (H + f) * \tg\left(\frac{\beta}{2}\right),$$

$$a = \frac{(H + f) * d_1}{f},$$

$$b = \frac{(H + f) * d_2}{f},$$

$$\varepsilon_a = \left(1 - \left|\frac{a - V_a * S}{V_a * S}\right|\right) * p_a,$$

$$\varepsilon_b = \left(1 - \left|\frac{a - V_b * S}{V_b * S}\right|\right) * p_b,$$

$$\varepsilon = \max(\varepsilon_a; \varepsilon_b),$$

где:  $\alpha$  и  $\beta$  – углы обзора камеры;

$d_1$  и  $d_2$  – размеры матрицы камеры;

$f$  – фокусное расстояние;

$H$  – расстояние между камерой и объектом наблюдения;

$a$  и  $b$  – пространственные размеры снимка;

$\varepsilon_a$  и  $\varepsilon_b$  – относительные погрешности снимка.

$\varepsilon$  – максимальная относительная погрешность выдержки;

$S$  – время выдержки снимка;

$V_a$  и  $V_b$  – проекции скорости БПЛА на векторы, соответствующие ориентации камеры в пространстве.

$p_a$  и  $p_b$  – разрешение матрицы камеры.

Учитывая невозможность изменения внутренних характеристик камеры, ее матрицы и объектива, непосредственно во время проведения мониторинга на погрешность выдержки снимка влияют высота и скорость полета БПЛА.

Согласно [4], рекомендуемая скорость полета ЛА в момент проведения замеров должна составлять до 150 км/ч, а высота полета ЛА – от 200 до 500 метров.

В качестве примера рассмотрим средневолновую инфракрасную тепловизионную камеру FLIR A6780 MWIR [8].

Для характеристик выбранной камеры наиболее подходящими параметрами полета БПЛА являются:

- скорость полета 125 км/ч;
- высота полета 500 метров.

При заданных параметрах полета погрешность выдержки снимка будет составлять менее одного пикселя снимка, что обеспечит оптимальное соотношение параметров полета БПЛА и погрешности выдержки снимка.

## Выводы

Исследование моделей и алгоритмов прогнозирования распространения фронта лесных пожаров на основе мониторинга территории его возникновения при помощи систем БПЛА с установленными тепловизионными камерами инфракрасного спектра поможет для практической реализации одноименной системы для выполнения заблаговременного предупреждения населенных пунктов и других областей интереса о скорости и времени подхода фронта лесного пожара.

## Литература

1. Природа России. URL: <http://www.priroda.ru/regions/forest/> (Дата обращения: 20.02.2022).
2. В Минприроды оценили экономический ущерб от лесных пожаров в России в 2021 году. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13265341> (Дата обращения: 20.02.2022).
3. ГОСТ Р 22.1.09-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования.
4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 5 мая 2016 г. №277 «Об утверждении Методических указаний по измерению площади, пройденной огнем при лесном пожаре» (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/71492966/> (Дата обращения: 23.04.2022).
5. Абдуллин А.Х., Арсланов А.А., Линник Е.В. Использование геоинформационных технологий для мониторинга лесных пожаров в Республике Башкортостан.
6. Каримова К.Р., Киреева Ю.М., Лапин А.Н., Минасов Ш.М., Яруллин Ч.А., Алгоритм визуализации полета летательного аппарата на основе расчетных данных траектории с коррекцией по данным телеметрии в режиме реального времени//Мавлютовские чтения: материалы V Международная научно-техническая конференция. – Уфа, 2021 – С. 91-95.
7. KCL researchers in new 10-million-euro project to tackle forest fires in Europe. URL: <https://www.kcl.ac.uk/news/kcl-researchers-in-new-10-million-euro-project-to-tackle-forest-fires-in-europe> (Дата обращения: 23.04.2022).
8. FLIR A6780 MWIR средневолновая инфракрасная тепловизионная камера. URL: <https://itc-avikon.ru/catalog/a6780/> (Дата обращения: 23.04.2022).