

В.С. Хандецький, П.В. Хандецький

ВПЛИВ НАВАНТАЖЕННЯ КАНАЛІВ НА МАРШРУТИЗАЦІЮ ЗА АЛГОРИТМОМ ДИФУЗНОГО ОНОВЛЕННЯ

Анотація. Визначені функції впливу навантаження каналів на метрику маршруту при умові незалежності кумулятивної затримки вздовж маршруту від його навантаження і при умові, що затримка лінійно залежить від навантаження. Показано, що інтегрований вплив навантаження добре регулюється вибором значення вагового коефіцієнту який задає ступінь участі пропускної здатності в формуванні загальної метрики маршруту.

Ключові слова: метрика маршруту, пропускна здатність, затримка, навантаження, алгоритм дифузного оновлення.

Вступ. Маршрутизатор розширеного протоколу внутрішнього шлюзу EIGRP підтримує три таблиці, які використовуються алгоритмом дифузного оновлення: таблицю сусідніх пристроїв, таблицю топології і таблицю маршрутизації. Таблиця сусідніх пристроїв містить IP-адреси сусідніх маршрутизаторів, часові характеристики обміну, які характеризують відношення суміжності, неявні показники надійності та затримки. В таблицю топології включаються ідентифікатори активного чи пасивного маршруту, префікс мережі призначення, можлива відстань до неї, усі можливі проміжні вузли та відстані до них, відстань для маршруту через кожний можливий проміжний вузол. Таблиця маршрутизації включає в себе дані про поточний стандартний маршрут і всі можливі маршрути, а також відстані (метрику) для кожного маршруту [1].

Основна частина. У відповідності з протоколом EIGRP метрика маршруту розраховується за формулою [2]:

$$M = (256k_1B_e + \frac{k_2B_e}{256-L} + 256k_3D_c) \cdot \frac{k_5}{k_4 + R}, \quad (1)$$

де B_e – пропускна здатність, D_c – затримка, L – навантаження, R – надійність маршруту.

Для того, щоб у групі паралельних каналів від маршрутизатора до деякої мережі більш широкополосні канали мали краще (більш низьке) значення метрики, пропускна здібність B_s визначається наступним чином: $B_s = \frac{10^7}{V}$, де V – швидкість каналу в $kbit/sec$.

Затримка маршруту визначається як сума усіх затримок вздовж даного маршруту у десятках мікросекунд.

Для визначення навантаження L використовується експоненційно зважена оцінка. Період вимірювання звичайно складає 5 хвилин, а розрахункове значення навантаження оновлюється через кожні

5 сек. З урахуванням того, яке було середнє навантаження каналу за попередній п'ятихвилинний інтервал. Навантаження L вимірюється в діапазоні від 1 до 255, де 1 відповідає мінімально навантаженому каналу, а 255 – повністю навантаженому каналу.

Надійність каналу R також використовується з використанням експоненційно зваженого середнього значення, яке визначається за результатами роботи за попередній п'ятихвилинний інтервал і корегується через кожні 5 сек. Для характеристики R використовується шкала від 255 до 1, де значення $R=255$ відповідає каналу з повною відсутністю помилок, а $R=1$ – повністю непридатному для передачі інформації каналу.

Протоколом EIGRP в якості першого наближення при розрахунках метрики M рекомендуються наступні значення коефіцієнтів в (1): $k_1 = k_3 = 1$, $k_2 = 0$, $\frac{k_5}{k_4 + R} = 1$. Тоді вираз (1) приймає більш простий вигляд:

$$M = 256(B_s + D_c). \quad (2)$$

Якщо маршрут складається з декількох послідовно з'єднаних каналів з різною пропускною здатністю, то пропускна здатність маршруту визначається пропускною здатністю найбільш повільного каналу. Припустимо, що це є канал FastEthernet, тоді $V = 10^5 kbps$, а пропускна здатність $B_s = 100$. Тоді, у відповідності з (2), $M=30720$.

Дослідимо вплив навантаження L на значення метрики, задавши спочатку $k_1 = k_3 = 1$, $k_2 = 1$, $\frac{k_5}{k_4 + R} = 1$. Тоді з (1) одержимо:

$$M = 256 \cdot \left[B_e \left(1 + \frac{1}{256(256 - L)} \right) + D_c \right]. \quad (3)$$

Нагадаємо, що навантаження каналу L не задається аналогічно B_e і D_c , а вимірюється, тому, в принципі вона може змінюватися динамічно в діапазоні від 1 до 255. У відповідності з виразом (3) навантаження $L=1$ змінює метрику на 0,0003%, а $L=255$ – на 0,3%, тобто метрика в даних умовах практично не реагує на змінення L .

Дослідимо відносний вплив навантаження L на величину метрики M при довільному значенні коефіцієнту k_2 в умовах, що діють для (3). Задамо функцію F_1 , що описує цей вплив, як

$$F_1 = \frac{1}{M} \cdot \frac{k_2 B_e}{256 - L}. \quad (4)$$

Прийmemo, у першому наближенні, постійним співвідношення між затримкою D_c і пропускну здатністю B_e , тобто $D_c = \alpha B_e$, де $\alpha = \text{const}$ (для наведеного вище прикладу $\alpha = 0,2$). Тоді

$$F_1 = \frac{k_2}{k_2 + (1 + \alpha) \cdot 256(256 - L)}. \quad (5)$$

Як показано вище, при $k_2 =$ змінення навантаження у всьому діапазоні $L=1-255$ практично не впливає на метрику. Щоб одержати вагомий внесок навантаження прийmemo $k_2 = 100$.

Відповідні залежності $F_1(L, \alpha = 0,2)$ представлені на рис.1.

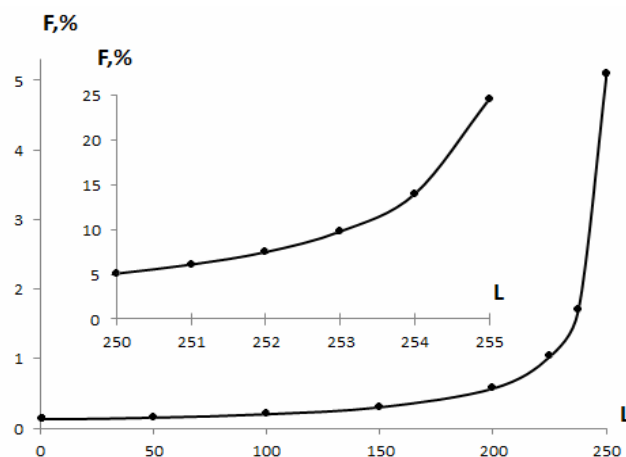


Рисунок 1 – Вплив навантаження L на величину метрики

$$k_1 = k_3 = 1, k_2 = 100, \frac{k_5}{k_4 + R} = 1$$

Згідно представлених графіків повний діапазон значень навантаження L за ступенем впливу на метрику маршруту доцільно розділити на три піддіапазони:

- перший, $1 \leq L \leq 224$, де F_1 практично не перевищує 1% ;
- другий, $225 \leq L \leq 249$, де $F_1 < 5\%$;
- третій, $250 \leq L \leq 255$, де $F_1 > 5\%$.

При змінненні співвідношення між затримкою D_c і пропускнуою

здатністю B_s , ($\alpha = \frac{B_s}{D_c}$) границі цих діапазонів можуть змінюватись. Розглянемо, як змінюється нижня границя L_1 третього діапазону, яка відповідає $F_1 = 5\%$, при змінненні параметру α і вагового коефіцієнта k_2 . Із (5) виходить:

$$L_1 = 256 - \frac{0.074 \cdot k_2}{1 + \alpha}. \quad (6)$$

Графіки залежності $L_1(k_2)$ при різних α представлені на рис.2.

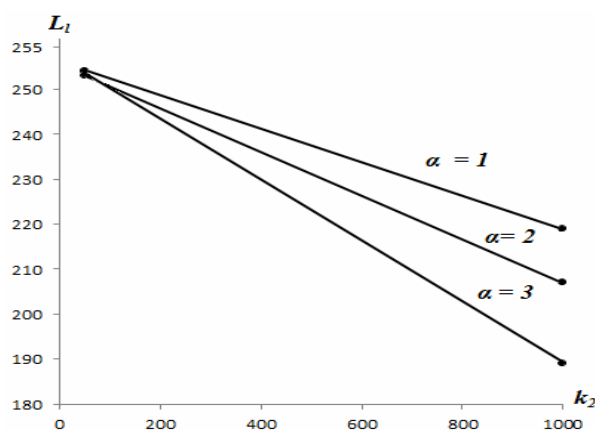


Рисунок 2 – Залежності L_1 від k_2 при різному співвідношенні затримки і пропускнуої здатності маршруту

Таким чином, збільшення затримки по відношенню до пропускнуої здатності маршруту приводить до зростання порогового значення L_1 , яке відповідає 5% впливу навантаження на загальну метрику маршруту.

Результати проведеного аналізу є відповідними при умові незалежності пропускнуої здатності B_s і затримки D_c від навантаження L . Для уточнення одержаних результатів доцільно прийняти, що затримка D_c залежить від L .

Загальну тривалість обслуговування пакету τ_Σ можна представити у вигляді [3,4]:

$$\tau_\Sigma = \tau_r + m \tau_0, \quad (7)$$

де τ_r – інтегральний час обслуговування пакету в роутері; τ_0 – час переходу з однієї ступені черги буферної пам'яті на іншу; m – кількість зайнятих ступенів. Припустимо, що $m = \beta \cdot L$, де $\beta = \text{const}$. Враховуючи, що затримка D_c в основному визначається чергами вздовж маршруту слідування пакету [5,6], одержимо:

$$D_c = \beta \cdot \tau_0 \cdot L, \quad (8)$$

де β – коефіцієнт пропорційності між загальною кількістю зайнятих ступенів сумарної черги вздовж даного маршруту і навантаженням L . Тоді загальний вираз для метрики (1) за умови $\frac{k_5}{k_4 + R} = 1$ приймає наступний вигляд:

$$M = 256k_1B_e + \frac{k_2B_e}{256 - L} + 256 \cdot k_3L, \quad (9)$$

де коефіцієнт k_3 враховує (8). В цьому випадку функція, що описує відносний вплив навантаження L на метрику маршруту M в умовах (9) визначиться як

$$F_2 = \frac{1}{M} \left(\frac{k_2B_e}{256 - L} + 256 \cdot k_3L \right), \quad (10)$$

чи в розгорнутому вигляді :

$$F_2 = \frac{k_2B_e + 256 \cdot k_3L(256 - L)}{256 \cdot k_1B_e(256 - L) + k_2B_e + 256 \cdot k_3L(256 - L)}, \quad (11)$$

Здійснимо оцінку величини k_3 . При аналізі формули (2) прийнято, що пропускна здатність $B_e = 100$, а сумарна затримка вздовж маршруту $D_c = 20$. При 5% рівні впливу навантаження ($F_1 = 0,05$) значення навантаження $L_1 = 250$. Звідси $k_3 = \frac{D_c}{L_1} = 0,08$. Іншими словами

тут, як і в попередньому прикладі, коли ми вважали, що затримка D_c не залежить від навантаження L , навантаження $L=250$ викликає 5% змінення загальної метрики маршруту. Залежності F_2 від L при різних значеннях коефіцієнту k_1 , що масштабує вплив пропускної здатності B_e , представлені на рис.3.

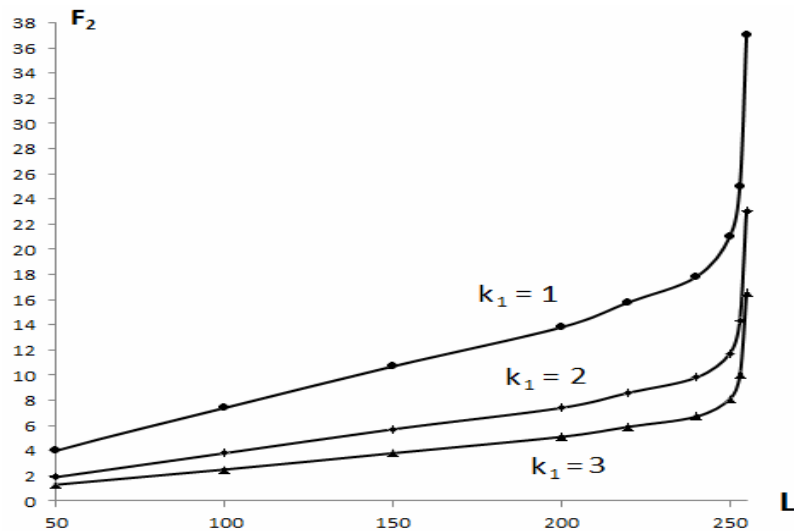


Рисунок 3 – Інтегрований вплив навантаження на загальну метрику маршруту

Аналіз представлених на рис.3 графіків показує, що практично до значення $L=240$ навантаження лінійно впливає на метрику маршруту. Для графіку на рис.1 це значення L є суттєво нижчим. Нижче і ступінь нелінійності залежностей $F_2(L)$ у порівнянні з $F_1(L)$. Інтегрований вплив навантаження добре регулюється вибором значення коефіцієнту k_1 .

Висновки

1. Визначена функція F_1 впливу навантаження L на метрику маршруту M при умові незалежності кумулятивної затримки D_c від L . Одержана залежність нижнього порогового значення навантаження

L_1 , що відповідає $F_1=5\%$, від параметру $\alpha = \frac{D_c}{B_s}$ і коефіцієнту k_2 метрики.

2. Визначена функція впливу F_2 , аналогічна F_1 , але при умові, що кумулятивна затримка D_c лінійно залежить від навантаження маршруту L . Показано, що інтегрований вплив навантаження добре регулюється вибором значення коефіцієнту k_1 , який задає ступінь участі пропускної здатності B_s у формуванні загальної метрики маршруту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wendell Odom. CCNA ICND2. Official Exam Certification Guide. Second Edition. / Cisco Press. – 2009. – V.2.
2. Хилл Б. Полный справочник по Cisco. / М.-Л.: Вильямс, 2006. – 1078с.
3. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. / М.: Радио и связь. – 1988. – 191с.
4. Garcia-Luna-Aceves J.J. A Unified Approach for Loop-Free Routing Using Link States or Distance Vectors // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 1989. – 19(4).
5. Garcia-Luna-Aceves J.J. Loop-Free Routing Using Diffusing Computations // IEEE. ACM Transactions on Networking. – 1993. – 1(1).
6. Jeff Doyle. Routing TCP/IP. – Cisco Press. – 1998. – V.1.

A.I. Ivon, Y.A. Ivon, R.I. Lavrov

**APPLICATION OF BITMAPS FOR INCREASING DATA
PROCESSING ACCURACY IN PHYSICAL EXPERIMENT**

Abstract. Application of bitmaps obtained by a digital photcamera for increasing measurement accuracy was investigated. As it was shown, the processing of such images in graphic editors allows measuring sizes of planar objects with the absolute error no more than $\pm 31 \mu\text{m}$. The relative error of voltage measurement by means of the bitmaps of analog oscillograms does not exceed $\pm 1.5\%$.

Keywords: pixel, bitmaps, graphic editor, measurement error.

Introduction. It is known that a bitmap is a two-dimensional array of points called pixels. Every pixel has coordinates and color [1]. Since pixels have the discrete nature, their coordinates are discrete values, usually integer numbers which are represented by binary codes in a computer. Pixel color is represented by a binary code too. Therefore, a bitmap is the method of image representation in a computer in the form of a bit array. Depending on a coding method of a color there are different formats of graphic files for storing bitmaps. The widest spectrums of a color rendering have the graphic files which use 24 bit RGB code for coding the pixel color (~ 16 millions of color tints). For example, these are files of the TIF and JPG formats.

Digital photography gives wide possibilities of creating bitmap files. Such files can be obtained with a digital camera. After input into a computer a bitmap file can be opened in a graphics editor, for example, in the Adobe Photoshop. Graphics editors allow increasing bitmaps and allow performing scanning for obtaining the information about the coordinates of any pixel. These possibilities can be used for increasing data processing accuracy in physical experiment, for example, at determining sizes of small objects or at extracting information from oscillograms of analog oscillograph.

Problem definition. The aim of this work is the investigation of application of bitmaps for determining sizes of planar objects and for increasing accuracy the analog oscillograms processing.

Major part. Physical object or oscillogram must be photographed with a digital camera to create a graphics file. To determine the size it is necessary to photograph measurement object together with a length standard, for example, together with the scale of a ruler. It is necessary for binding coordinates with the length unit. With the same aim, for analog oscillograms it is necessary to photograph oscillograms of the calibrating signals which define the standard intervals for voltage and time.

Adobe Photoshop graphics editor can be used to process bitmaps. The “Actual Pixels” option in the “View” option can be used for obtaining of the initial image size. The “Info” option gives information about coordinates of a pixel. Adobe Photoshop allows scanning coordinates in different length units according to the settings of the “Info” option. Further we will use the coordinates n_x , n_y defined in pixels.

The standard length interval L_S is used for determining the scale parameters γ_x , γ_y along the axis x and y . This interval must be situated parallel to the x -axis for determining the γ_x value. In this case the coordinates n_{xS1} , n_{yS1} ; n_{xS2} , n_{yS2} of the ends of L_S interval must be defined at $n_{yS1} = n_{yS2}$. Then the γ_x value is equal $\gamma_x = |n_{xS1} - n_{xS2}|/L_S$. The standard interval of length must be situated parallel to the y -axis for determining the γ_y value. In this case the coordinates must be found at $n_{xS1} = n_{xS2}$ and the γ_y calculated as $\gamma_y = |n_{yS1} - n_{yS2}|/L_S$. Usually $\gamma_x = \gamma_y = \gamma$.

When the γ value is known, the sizes of any bitmap object along the axis x (l_x) and the axis y (l_y) can be determined by scanning coordinates on the edges of object n_{x1} , n_{y1} ; n_{x2} , n_{y2} using the following relationships:

$$l_x = |n_{x1} - n_{x2}|/\gamma \text{ at } n_{y1} = n_{y2}, \quad (1)$$

$$l_y = |n_{y1} - n_{y2}|/\gamma \text{ at } n_{x1} = n_{x2}. \quad (2)$$

The resolution of a bitmap is $\Delta n = 1$ pixel. Therefore, from the Eqs. (1), (2) it follows that absolute error of length determination for such images is equal:

$$\Delta l = \pm 1/\gamma. \quad (3)$$

The bitmap for specimen of the varistor ceramics with small silver electrodes is shown in the Fig.1. Graphic file of this image was created with the digital camera OLYMPUS C-765. File is opened in Adobe Photoshop editor with using the “Actual Pixels” option. The scanning of the ruler scale at $n_{x01} = n_{x02}$ allows to determine the value of the scale parameter $\gamma = 32$ pixel/mm. Thus, in accordance to (3) the absolute error of the length determination is $\pm 0,031$ mm = ± 31 μ m.

Such value of the absolute error is close to the absolute error of length measurement by means of the micrometer ± 10 μ m and three times lower than the absolute error of length measurement for the vernier calipers ± 100 μ m. It should be noted that micrometer and vernier calipers do not allow measuring the sizes of planar objects precisely (electrodes in the Fig. 1). Bitmaps give the possibility to determine sizes of planar objects by the method described above. Thus, for example, the electrode 2 in Fig. 1 has the sizes along x and y axis $d_x = 1,75 \pm 0,03$ mm, $d_y = 1,72 \pm 0,03$ mm, correspondingly. The electrode area calculated by the formula of ellipse area is equal $2,36 \pm 0,06$ mm². The relative error of sizes determination is $\pm 1,7$ % and the relative error of area determination is $\pm 2,5$ % for electrodes in the Fig. 1.



Figure 1 – Bitmap of varistor ceramics specimen

Consequently, the bitmaps obtained with a digital camera ensure a high accuracy for sizes determination of the planar objects at processing of such images in the graphic editors. This accuracy can be increased if using a camera with higher resolution.

It is known that the relative error of determining instantaneous values of voltage $u(t)$ is close to ± 5 – 8 % for analog oscillographs [2].

Let's analyze the possibilities of using bitmaps for increasing processing accuracy of analog oscillograms.

Oscillograms of voltage and electric current recorded in a memorization mode for zinc oxide varistor with small electrodes are shown in the Fig. 2 (for electrode 2 in Fig. 1). Oscillograms were obtained at the application of exponential pulse with the time constant of $100\ \mu\text{s}$ to the specimen. Oscillograms of the calibrating signals, recorded in usual time sweep mode at the same amplification as oscillograms in Fig. 2a are shown in the Fig. 2b and the Fig. 2c. The rectangular pulses with the cycle of 1 ms and with the amplitudes of 100 V and 5 V were used for calibration. Electric current was measured as a voltage drop on the precision resistor connected in series with the specimen. Therefore, the calibrating current is $I_C = 5\ \text{A}$. Oscillograms in the Fig. 2 were recorded by means of the analog double-beam storage oscilloscope C8-11. Bitmap files of oscillograms in the JPG format were created with the digital camera OLYMPUS C-765.

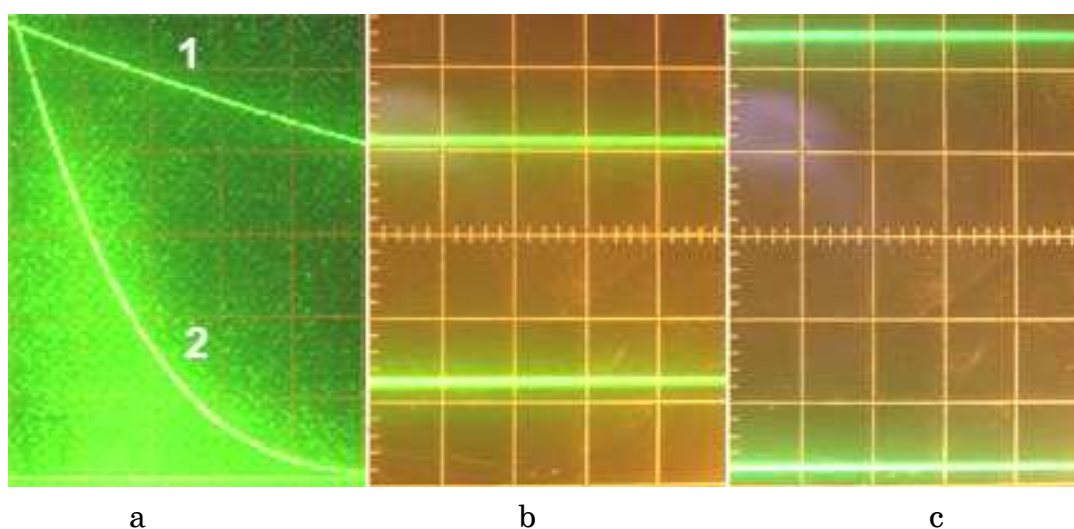


Figure 2 – Oscillograms: a – voltage (1) and current (2) for specimen of varistor ceramics; b – calibration voltage of 100 V;
c – calibration current of 5 A.

The scale of the time sweep $T_C = 5\ \mu\text{s}/\text{division}$

The scale parameters for voltage γ_U and current γ_I can be determined from the oscillograms of calibration signals using the calibration voltage U_C and the calibration current I_C . To do this it is necessary to scan bitmaps of the calibration signals at $n_{xC1} = n_{xC2}$ in two points corresponding to upper line and bottom line in the Fig. 2b and in the Fig.

2c. From the obtained values of the coordinates n_{xC1} , n_{yC1} ; n_{xC2} , n_{yC2} the scale parameters can be calculated as

$$\gamma_U = |n_{yC1} - n_{yC2}| / U_C, \quad \gamma_I = |n_{yC1} - n_{yC2}| / I_C. \quad (4)$$

The γ_T scale parameter of time can be obtained from the value of time sweep scale T_C by scanning the scale grid of oscillograph at $n_{yC1} = n_{yC2}$.

The systematic error related to the determination of the scale parameters can be reduced at measuring values of $u(t)$ and $i(t)$. To do this it is necessary to determine the values of γ_U and γ_I for several points on the bitmap of the calibration signal and calculate the average values of these parameters.

It is necessary to use the $n_{0x}(t)$, $n_{0y}(t)$ coordinates of the reference line at determining instantaneous values of $u(t)$ and $i(t)$ by means of bitmaps of the oscillogram. The reference line is registered at zero voltage applied to the inputs of a storage oscilloscope (bottom straight line in Fig. 2a). Scanning of pixels of oscillogram bitmap is performed at $n_{0x}(t) = n_{Ux}(t) = n_{Ix}(t)$. The instantaneous voltage $u(t)$ and current $i(t)$ can be calculated from the coordinates $n_{Ux}(t)$, $n_{Uy}(t)$; $n_{Ix}(t)$, $n_{Iy}(t)$ as

$$u(t) = |n_{Uy}(t) - n_{0y}(t)| / \gamma_U, \quad (5)$$

$$i(t) = |n_{Iy}(t) - n_{0y}(t)| / \gamma_I. \quad (6)$$

If the initial moment of time is selected in the reference line (point with coordinates $n_{0x}(0)$, $n_{0y}(0)$) then the running time in Eqs. (5) and (6) is equal:

$$t = |n_{Ux}(t) - n_{0x}(0)| / \gamma_T. \quad (7)$$

The error of voltage determination by bitmaps of analog oscillograms depends not only from the resolution of the bitmap itself, but also and first of all from the blurriness of lines in oscillogram. The value of this blurriness Δ can be found by determining the coordinates of the edges of the line at $n_{x1} = n_{x2}$. If these coordinates are n_{x1} , n_{y1} ; n_{x2} , n_{y2} then $\Delta = |n_{y1} - n_{y2}|$. The cursor should be positioned in the middle of oscillogram line at the scanning of coordinates in this line. Therefore, blurriness of the line gives the absolute error of coordinate's determination close to $\Delta/2$. Then the absolute error $\Delta u(t)$ of the voltage determination from a bitmap of oscillogram is equal

$$\Delta u(t) = \pm \Delta / (2 \gamma_U). \quad (8)$$

Taking into account the Eq. (5) and (8) the relative error of voltage measurement δ is calculated by the expression:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{2|n_{Uy}(t) - n_{0y}(t)|} \cdot 100\% . \quad (9)$$

As evident from the Eq. (9), the value of δ is decreasing when modulus of coordinate difference $|n_{Uy}(t) - n_{0y}(t)|$ is increasing and when the blurriness parameter of oscillogram Δ is decreasing. The Δ value can be controlled by changing focusing, astigmatism and brightness of the oscillograph beam.

A blurriness of lines in oscillogram (Fig. 2, the curve 1) is $\Delta = 10$ pixels. The value of modulus for difference $|n_{Uy}(t) - n_{0y}(t)|$ changes from 1600 to 1100 pixels. Taking into account the Eq. (9), the accuracy of the voltage determination at using the bitmap from Fig. 2a is $\delta = \pm(0,3-0,5)\%$. Consequently, at using bitmaps of analog oscillograms for the measurement of instantaneous voltages the relative error is close to the values typical for the digital voltmeter $\delta = \pm 1-1,5\%$ [2].

Adobe Photoshop is not right for scanning large pixel arrays in bitmaps, because it does not allow memorizing these arrays for a further processing. We developed a program for scanning of bitmaps. This program can be opened in any modern browser. The window of the program opened in the Opera browser is shown in Fig. 3.

Any bitmap file can be opened in a window using the “Open file” option of the program. Coordinates of a pixel corresponding to the cursor location are displayed in the upper left corner of the screen. Click on the left mouse button records the current coordinates to the table. As shown in the Fig. 3 (see the table), the array of pixel coordinates can be obtained when the cursor at scanning goes with the specified step along the oscillogram line and then it goes with the specified step along the reference line (the line at the bottom of screen). This array can be copied and then opened for a further processing, for example, in Microsoft Excel.

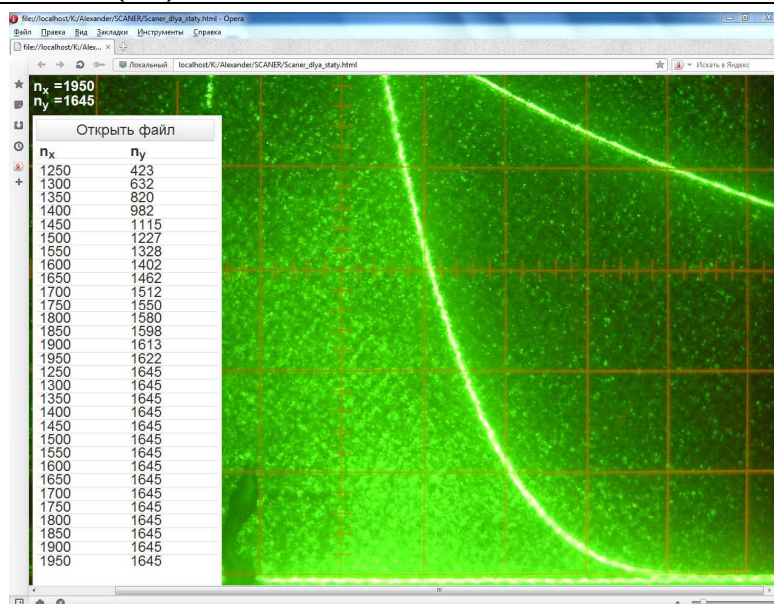


Figure 3 – Window of program for scanning of the bit images

Conclusion. The bitmaps obtained with a digital camera allow increasing the measurement accuracy of physical values at their processing in a graphics editor. The application of bitmaps for determining sizes of planar objects ensures the absolute error no more than $\pm 31 \mu\text{m}$. The relative error of voltage measurement by means of bitmaps of analog oscillograms does not exceed $\pm 1.5\%$.

REFERENCES

1. Солоницин. Ю. Photoshop CS2 и цифровая фотография [Текст] / Ю. Солоницин. – СПб.: Издательский дом „Питер”, 2006. – 347 с.
2. Дедюхин А.А. Основные характеристики современных осциллографов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.prist.ru/info.php/articles/general_ch_modern_oscilloscopes.htm – Загл. с экрана.

Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЯРКОСТИ И КОНТРАСТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрен новый подход при автоматическом определении оценок уровня яркости V и контраста C , которые позволяют повысить достоверность контроля их изменения в процессе обработки изображений. Предложенные характеристики могут быть использованы в автоматическом и автоматизированном режимах работы.

Ключевые слова: характеристики изображения, контрастность, яркость, гистограмма, автоматизированная оценка, цветопередача.

Введение. В настоящее время, постоянно возрастает количество практических задач, требующих осуществления обработки изображений, являющихся результатом стандартных методов исследования (например, в медицине, геофизике, спутниковом мониторинге Земли и пр.) с целью их последующего анализа. Оценка качества полученных в результате обработки изображений представляет собой отдельную проблему, важность которой особенно проявляется при использовании автоматизированного и автоматического режимов работы [1].

Объективные статистические характеристики изображения (минимум, максимум, среднее значение яркости, гистограмма и т.п.), как правило, позволяют сделать только приблизительную оценку их качества. Достаточно часто используемая визуальная оценка результата обработки при использовании автоматического режима работы неприемлема, а в других случаях, ввиду ее зависимости, как от устройств отображения, так и от органов восприятия наблюдателя, является необъективной. Последнее обстоятельство усложняет сравнение различных методов обработки, особенно в случаях незначительных различий в их результатах.

Кроме того, на оценку анализируемого изображения существенное влияние оказывает конечная цель обработки. В частности, в отличие от визуального анализа, машинная обработка требует удале-

ния неоднозначности и формирования четких критериев принятия решения.

Актуальность исследований. Важнейшими характеристиками, которые позволяют судить о качестве изображения, являются его яркость и контраст. При этом, если оценка уровня яркости, в принципе, не представляет особой сложности (можно, например, использовать усредненные значения для каждого цветового канала), то определение контраста, который представляет собой зависимость от степени различия уровней интенсивности объекта и фона, вызывает значительные трудности.

В работе [2] для оценки качества изображения было предложено использовать обобщенный контраст C_{gen} , который вычисляется для каждого цветового канала по формуле:

$$C_{gen} = \frac{\sum_{j=1}^{L_{max}} |V_j^1 + L_{max} - |V_j^1 - L_{max}|| \cdot h_j}{2L_{max} \cdot dy \cdot dx}, \quad (1)$$

причем L_{max} – максимально допустимое число уровней яркости изображения I , размерность которого $dx \times dy$; h – вектор, содержащий гистограмму изображения, а элементы вектора V^1 вычисляется по следующей формуле:

$$V_j^1 = 2V_j - \frac{L_{max}}{dx \cdot dy} \sum_{x=1}^{dx} \sum_{y=1}^{dy} I_{x,y}, \quad (2)$$

где $I_{x,y}$ – значение яркости текущего пикселя выбранного цветового канала изображения, а вектор V состоит из натуральных чисел на отрезке $[I_{min} \cdot L_{max}, I_{max} \cdot L_{max}]$, причем I_{min} и I_{max} – значения минимального и максимального уровней яркости изображения I , соответственно.

Особую сложность при оценке качества представляют изображения, диапазон яркости различных частей которых существенно различается, например, включающих низкоконтрастные области с визуально неразличимыми объектами интереса. В таком случае, усредненные оценки по всему изображению искажают реальную динамику проводимых преобразований, целью которых является изменение яркостных характеристик изображения, обеспечивающих выявление областей интереса.

В работах [3, 4] были предложены адаптивные методы повышения яркости и контраста, которые могут быть применены для широкого класса цветных и полутоновых изображений, в том числе и для снимков, содержащих низкоконтрастные области. Составной частью этих методов являются автоматические оценки уровня яркости V и контраста C . На основании этих значений принимается решение о необходимости повышения уровня яркости и контраста для заданного изображения.

Постановка задачи. Целью данной статьи является исследование возможности применения автоматических оценок яркости V и контраста C в информационных технологиях определения качества изображения.

Результаты исследований. Автоматическая оценка уровня яркости V выполняется для каждого цветового канала исходного изображения на основе выражения [3, 4]:

$$V = \sum_{j=1}^{N_w} \left((I')^{1-v_j} - (I')^{\frac{\bar{i}_j + \bar{I}}{2}} \right), \quad (3)$$

где $\bar{i}_j$ – средняя яркость j -го окна; N_w – количество окон, а значение I' определяется соотношением:

$$I' = \left(\bar{I} + \frac{I_{\min} + I_{\max}}{2} \right) / 2, \quad (4)$$

причем $\bar{I}$, $I_{\min}$, $I_{\max}$ – средний, минимальный и максимальный уровни яркости, соответственно, а v_j – оценка уровня яркости j -го окна, вычисление которой происходит с использованием значений $\bar{i}_j^1$, i_j и i_j^2 :

$$i_j^1 = \bar{i}_j^1 \left(1 - \frac{N_{i1}}{N_p} \right) V_j^1 = 2V_j - \frac{L_{\max}}{dx \cdot dy} \sum_{x=1}^{dx} \sum_{y=1}^{dy} I_{x,y}, \quad (5)$$

$$i_j^2 = \bar{i}_j^2 \frac{N_{i1}}{N_p}, \quad (6)$$

где $\bar{i}_j^1$ и $\bar{i}_j^2$ – средние значения по яркости пикселей j -го окна $w_{x,y}^j$, удовлетворяющих и не удовлетворяющих, соответственно, условию:

$$w_{x,y}^j \geq \frac{\bar{i}_j + \bar{I}}{2}, \quad (7)$$

N_{i1} – количество пикселей j -го окна, удовлетворяющих условию (7);
 N_p – количество пикселей окна. Значение v_j определяется следующим образом:

– если $N_{i1} > 0$ и $i_j^1 \neq 0$, то

$$v_j = (i_j) \left(\frac{1 - \text{sgn}(i_j^1 - i_j^2) \frac{\min(i_j^1, i_j^2)}{\max(i_j^1, i_j^2)} i_j}{1} \right)^{1 + \text{sgn}(i_j^1 - i_j^2) i_j} ; \quad (8)$$

– если $N_{i1} > 0$ и $i_j^1 = 0$, то

$$v_j = (i_j)^{1 + i_j^{-1 + i_j}} ; \quad (9)$$

– если $N_{i1} = 0$, то

$$v_j = (i_j)^{1 - i_j^{-1 - i_j}} . \quad (10)$$

Если для цветового канала выполняется условие $V \geq 0$, то его яркость не требует повышения.

Автоматическая оценка уровня контраста C вычисляется следующим образом [3, 4]:

$$C = \frac{N_{c_j > \bar{C}} - N_w / 2}{N_w}, j \in [1, \dots, N_w], \quad (11)$$

где $\bar{C}$ – среднее по оценкам контраста c_j для каждого окна; $N_{c_j > \bar{C}}$ – количество окон, для которых $c_j > \bar{C}$, а c_j определяется по формулам:

$$\text{если } \bar{\Delta i} \neq 0, \text{ то } c_j = \frac{\bar{\Delta i}}{\max(\bar{\Delta w}^{-1}, 1 - \bar{\Delta w}^{-1})}, \quad (12)$$

$$\text{иначе } c_j = \bar{\Delta w}^{-1}, \quad (13)$$

где $\bar{\Delta w}$ – разность между средними по интенсивностям значениями пикселей окна с яркостью, большей и меньшей $\bar{i}$; $\bar{\Delta i} = |\bar{i} - \bar{I}|$, а $\bar{\Delta w}^{-1}$ вычисляется так:

– если $\bar{\Delta w} \neq 0$ и $\Delta w \neq 0$, то

$$\bar{\Delta w}^{-1} = \frac{\Delta w}{\max(\bar{\Delta w}, 1 - \bar{\Delta w})}; \quad (14)$$

– если $\Delta \bar{w} = 0$, то $\Delta \bar{w}^{-1} = \Delta w$;

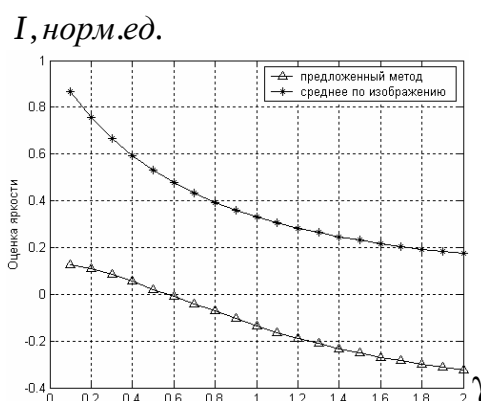
– во всех остальных случаях $\Delta \bar{w}^{-1} = \Delta \bar{w}$, причем $\Delta w = i_{max} - i_{min}$, а i_{min} и i_{max} – значения минимального и максимального уровней яркости в текущем окне, соответственно. Положительные значения C указывают на отсутствие необходимости повышения контраста.

Значение окна при вычислении значений V и C всегда выбирается равным 3×3 пикселей.

Экспериментальные результаты возможности применения автоматической оценки яркости V представлены на примерах анализа качества цифровых полутоновых и RGB изображений. На рис. 1,а приведена одна из составляющих 8-ми диапазонного полутонового ансамбля, для которой был применен метод гамма-коррекции с различными коэффициента преобразования γ . При каждом значении γ были вычислены параметры V и среднее по яркости, график изменения которых представлен на рис. 1,б.



а)



б)

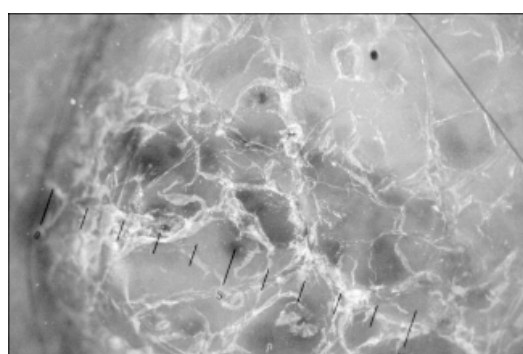
Рисунок 1– Оценка яркости: а – исходное полутоновое изображение; б – график зависимости оценки яркости V от параметра γ

Оба значения адекватно отображают произведенные при коррекции изменения яркости в зависимости от γ . Однако, предложенная оценка V изменяется практически линейно и принимает как положительные, так и отрицательные значения. Последнее обстоятельство позволяет достаточно просто ввести уровень порога яркости ($V < 0$) для процесса принятия решения о необходимости ее повышения, что важно для автоматизированного или автоматического ре-

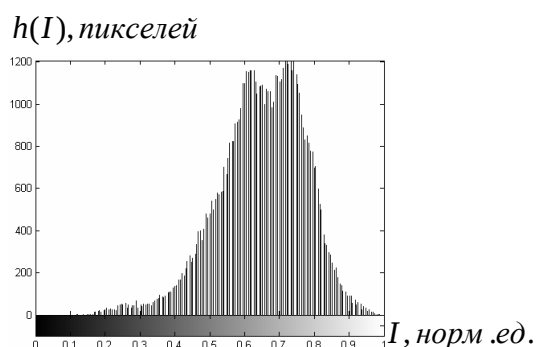
жимах работы.

Исследование возможности применения автоматической оценки контраста C для определения качества изображения демонстрируется на примере обработки цветного снимка, представляющего собой результаты дерматоскопии, выполненной с целью диагностирования меланомы. Цветовые RGB каналы этого медицинского изображения приведены на рис. 2,а,б,д. При выполнении визуального анализа исходных изображений и изучении их гистограмм (рис. 2,б,г,е) можно сделать вывод о недостаточном уровне контраста, что затрудняет выявление наличия меланомы и выделение области ее влияния.

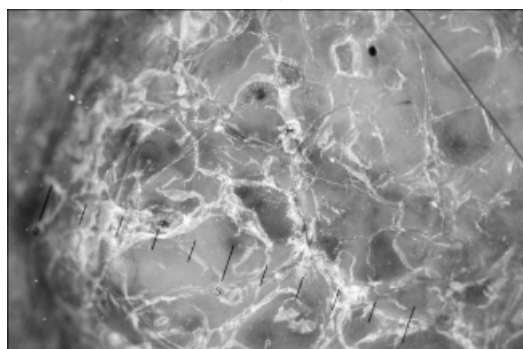
Для повышения контраста исходного изображения использовался метод адаптивной гистограммной коррекции [3], причем размер окна в экспериментах был равен размерности изображения. Этот метод применялся к исходным изображениям последовательно трижды. После каждого преобразования выполнялась оценка контраста C и C_{gen} для изображения в целом и с использованием окон размером 3×3 пикселей, соответственно, значения которых приведены в табл. 1, 2.



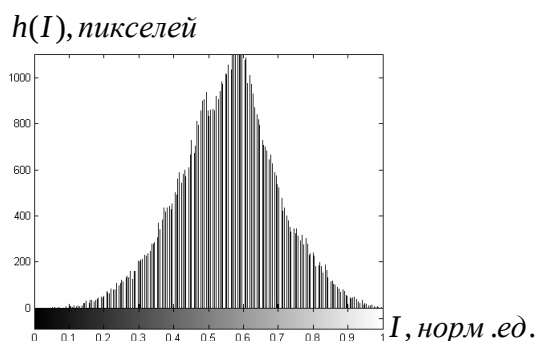
а)



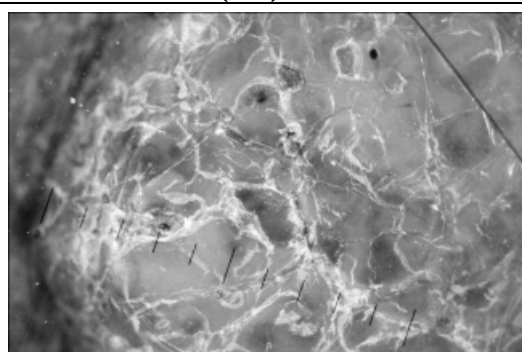
б)



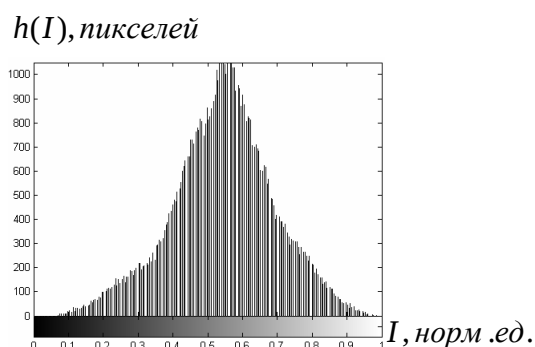
в)



г)



д)



е)

Рисунок 2 – Исходное изображение (размерность 323x215):

а, в, д – красный, зеленый и синий цветовые каналы;

б, г, е – их гистограммы

Таблица 1

Значения автоматической оценки контраста C

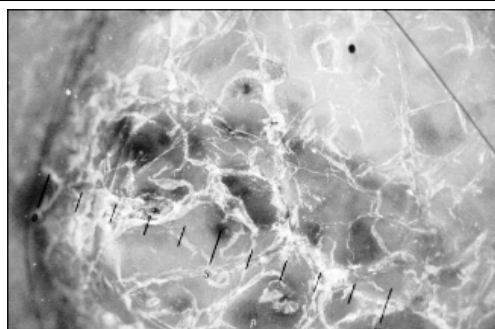
Изображение	C_r	C_g	C_b
рис. 2 (исходное)	-0.08284	-0.083998	-0.091392
рис. 3	-0.061793	-0.061407	-0.066229
рис. 4	-0.030736	-0.026813	-0.033886
рис. 5	-0.028335	-0.027113	-0.035087

Таблица 2

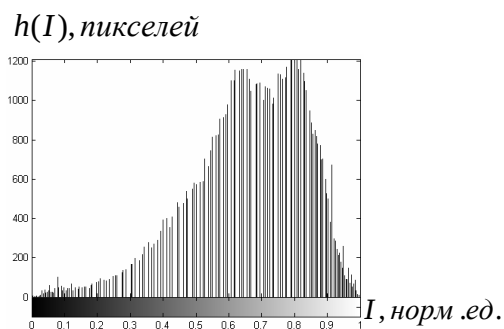
Значения оценки контраста C_{gen}

Размер окна	3x3 пикселей			Размер изображения		
изображение	$C_{gen,r}$	$C_{gen,g}$	$C_{gen,b}$	$C_{gen,r}$	$C_{gen,g}$	$C_{gen,b}$
рис.2(исходное)	0.043496	0.041924	0.042079	0.19973	0.22201	0.23006
рис. 3	0.067089	0.071365	0.072333	0.2885	0.34466	0.35793
рис. 4	0.089133	0.10308	0.10276	0.38799	0.49549	0.50846
рис. 5	0.10176	0.12562	0.12375	0.48355	0.63412	0.64132

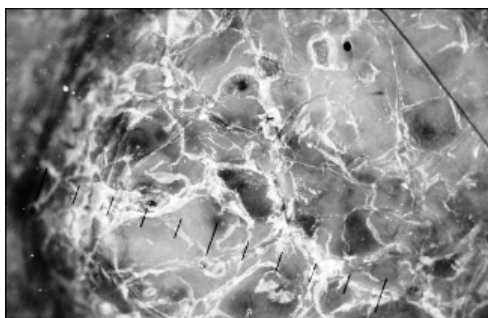
Результаты повышения контраста и их гистограммы представлены на рис. 3, 4, 5 для 1-го, 2-го и 3-го этапов обработки, соответственно.



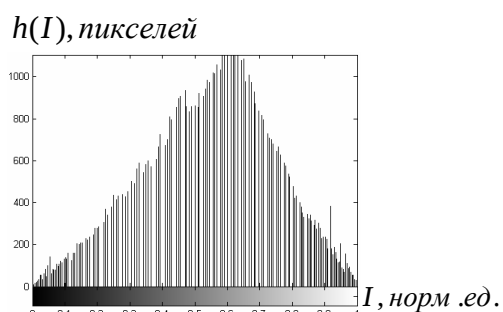
а)



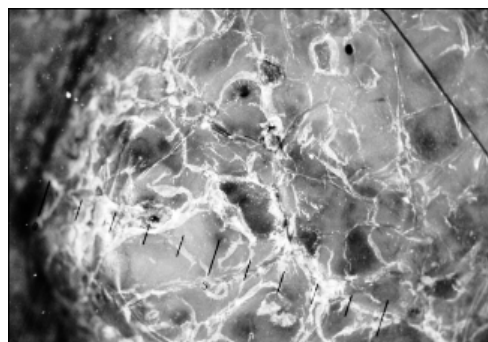
б)



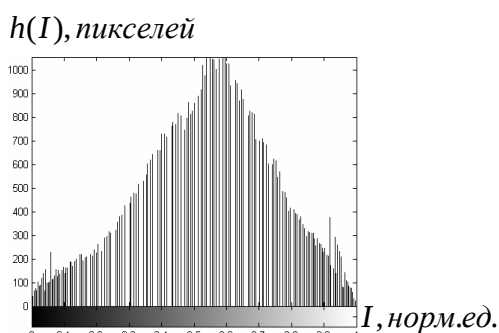
в)



г)

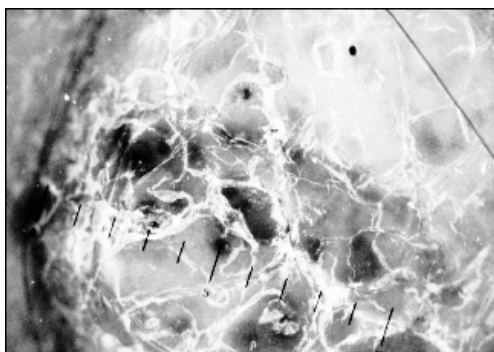


д)

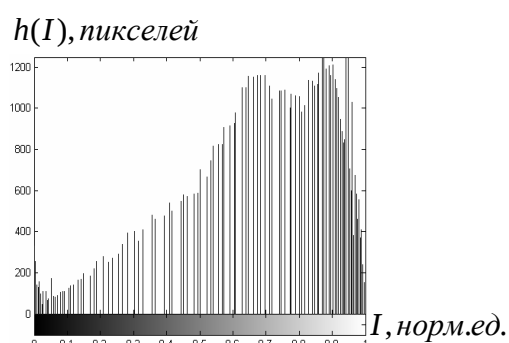


е)

Рисунок 3 – Повышение контраста изображений на рис. 2 а, в и д:
а, в, д – результаты обработки; б, г, е – их гистограммы



а)



б)

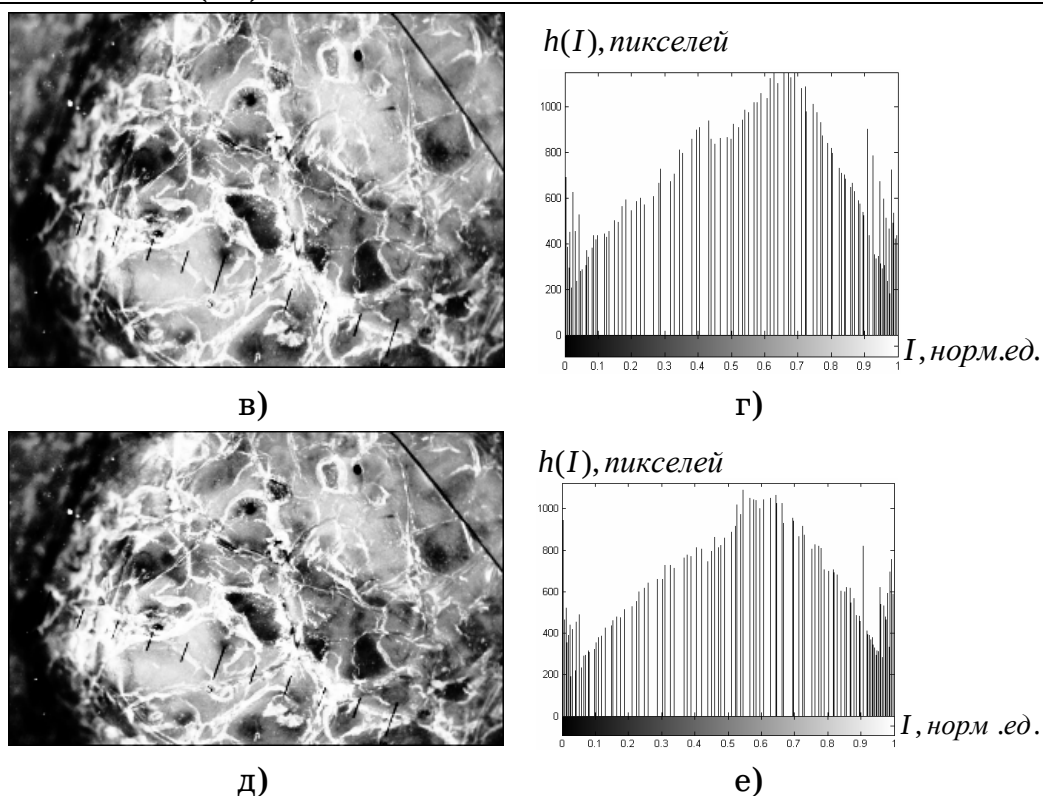


Рисунок 4 – Повышение контраста изображений на рис. 3 а, 3 в и 3 д:
а, в, д – результаты обработки; б, г, е – их гистограммы

На рис. 6 для удобства анализа приведен график изменения оценок S и S_{gen} для цветовых каналов исходных и всех обработанных изображений.

Анализ данных в табл. 1, 2, а также графика, представленного на рис. 6, показывает, что оба значения S и S_{gen} увеличиваются при последовательном повышении контраста. При использовании оценки S_{gen} наилучший результат при повышении контраста получаем для синего цветового канала. В то же время, визуальный анализ результатов преобразования и их гистограмм (рис. 3 – 5) показывает, что наилучший результат достигается для зеленого цветового канала, а для синего – наихудший.

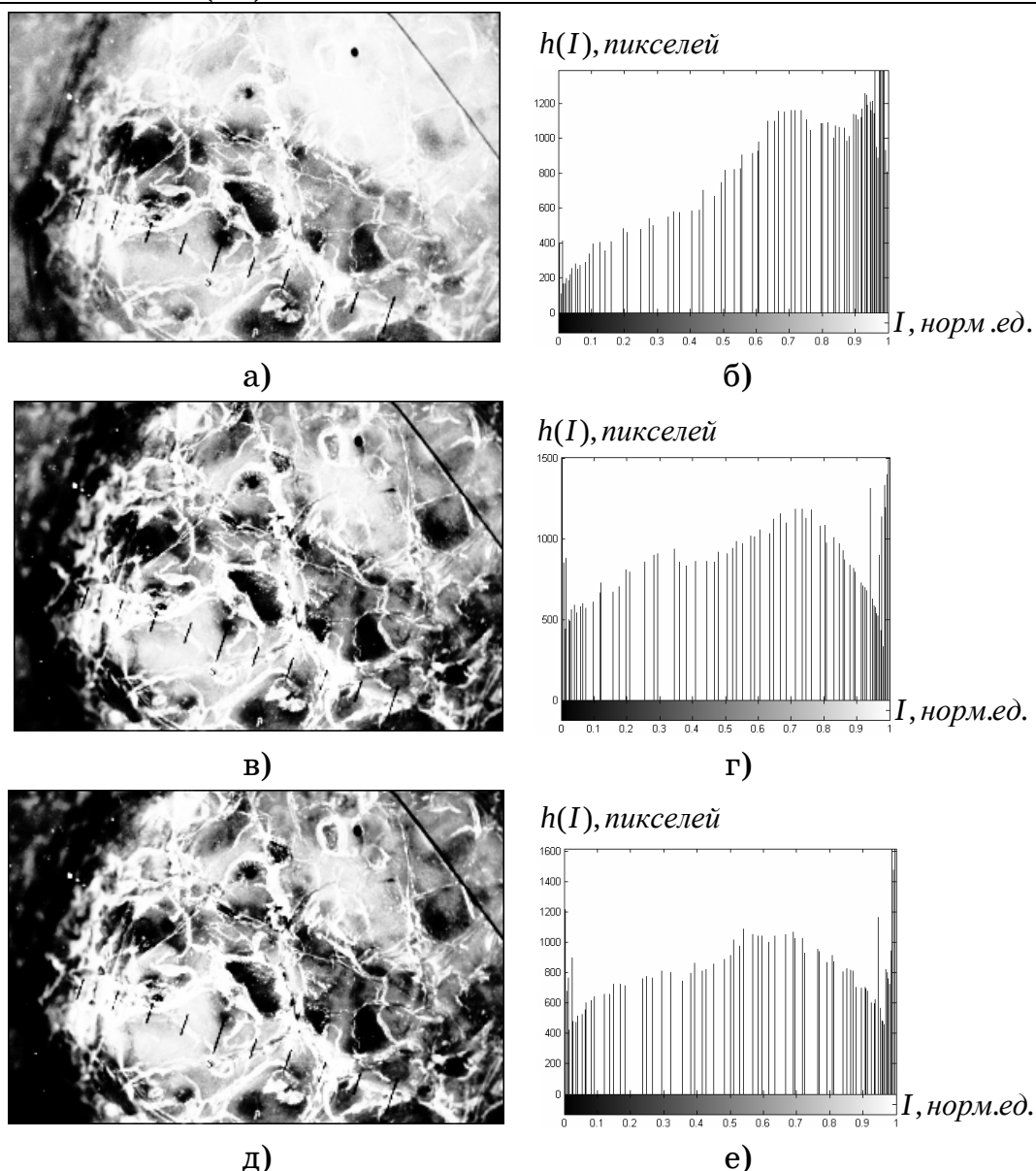


Рисунок 5 – Повышение контраста изображений на рис. 4 а, 4 в и 4 д:
а, в, д – результаты обработки; б, г, е – их гистограммы

Такой вывод при анализе гистограмм можно сделать на основании расположения пиков на них (рис. 3 – 5). Так, сравнение расположений максимумов на гистограммах зеленых и синих цветовых каналов обработанных изображений свидетельствует о том, что, в среднем, большинство пикселей в обоих случаях находятся в диапазоне яркостей 0.3-0.8 норм.ед., что повышает достоверность визуального анализа [1, 5]. Однако при этом количество пикселей в этом диапазоне у зеленого цветового канала больше.

Следует также отметить, что при повышении контраста в третий раз (рис. 5) детализация изображений, особенно в области инте-

реса (левая часть снимка), в целом, несколько ухудшается, несмотря на повышение уровня яркости. Анализ же полученных значений C_{gen} (последняя строка табл. 1, 2) показывает значительное увеличение контраста для всех цветовых каналов. При этом оценка C (последняя строка табл. 1) показывает незначительное увеличение контраста для красного и синего цветовых каналов и снижение – для зеленого, что более адекватно.

В более наглядном виде это также отображено и на графике изменений оценок C и C_{gen} (с использованием окон 3×3 пикселей), представленном на рис. 6. Кроме того, предложенная оценка C требует на ~17% меньше времени для вычисления, чем C_{gen} (с использованием окон 3×3 пикселей).

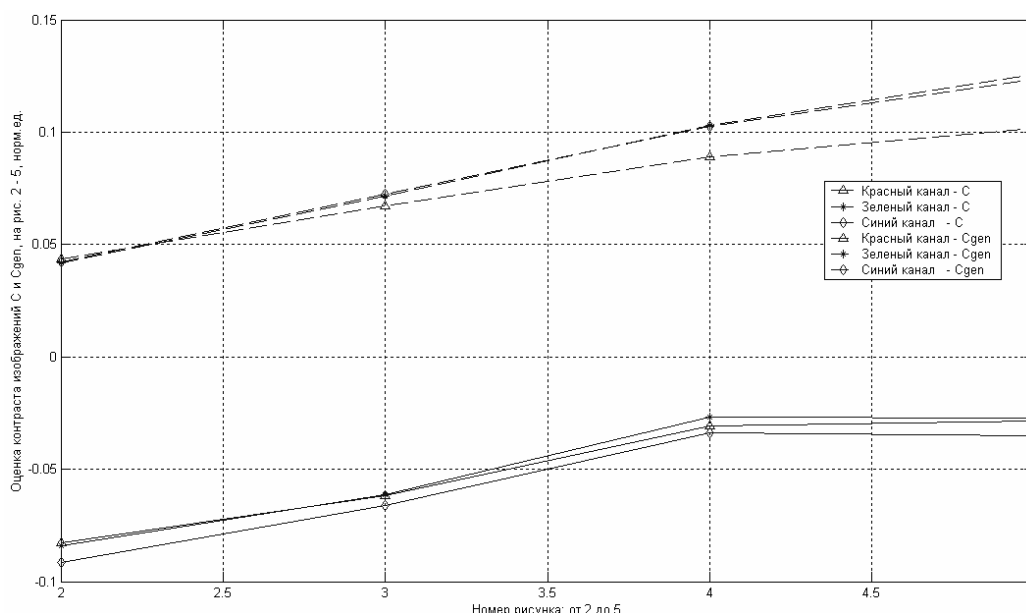


Рисунок 6 – График изменения оценок C и C_{gen} (с использованием окон 3×3 пикселей) при последовательном повышении контраста

Однако, несмотря на более адекватное отображение изменения контраста с помощью оценки C , вычисление этой характеристики в целом для изображения, содержащего сильно различающиеся по уровням яркости области, может оказаться нецелесообразным. Так, для рассмотренного примера дальнейшее повышение контраста для изображений на рис. 3 на самом деле приводит к ухудшению визуальной диагностики меланомы и выявления области ее распространения. При этом все рассмотренные оценки показывают улучшение контраста для всего изображения в целом.

Выводы. Использование предложенных автоматических оценок уровня яркости V и контраста C позволяет повысить достоверность при отслеживании изменения соответствующих характеристик в процессе обработки изображения. Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения этих оценок в информационных технологиях определения качества изображений. Кроме того, предложенные оценки яркости и контраста могут быть использованы при обработке изображений в автоматическом и автоматизированном режимах работы.

Для повышения достоверности оценки качества изображения, содержащего низкоконтрастные области, рекомендуется вычислять оценку не по всему изображению, а по области интереса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
2. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / И.М. Журавель – М., 1999. Режим доступа: URL: <http://matlab.exponenza.ru/imageprocess/book2>
3. Ахметшина Л.Г. Повышение достоверности цветопередачи в методике обработки мультиспектральных изображений / Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 201 – 211.
4. Ахметшина Л.Г. Повышение достоверности цветопередачи в методике обработки мультиспектральных изображений / Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы: международная научно-техническая конф., 20-24 сентября 2010 г., Кацивели. – Т. 1. – С. 250 – 254.
5. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K.Pratt – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.

А.А. Литвинов, Д.Л. Грузин, А.С. Вякилов

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В работе рассмотрен вариант модельно-ориентированного подхода, упрощающий создание и сопровождение информационной системы. На базе фреймовой модели производится генерация ряда компонентов, производится интерпретация модели в ходе работы системы, решаются вопросы, связанные с управлением конфигурации системы.

Ключевые слова: онтология, генерация кода, интерпретация, MDA.

Актуальность темы. На текущий момент, одновременно с усложнением программных систем, перед разработчиками стоит задача создания качественного многоуровневого программного обеспечения (ПО) в кратчайшие сроки с одновременным уменьшением затрат, обеспечением высокого коэффициента ROI (return of investments), быстрого внедрения, адаптации ПО под широкий класс задач из смежных областей. Несмотря на многообразие различных подходов, можно выделить следующие основные черты решения данных задач: стандартизация процессов и компонентов, на базе выделения эффективных решений и обеспечение их повторного использования; управление на базе тщательного планирования, мониторинга, предсказания и обработки рисков, учитывая опыт предыдущих разработок; создание новых метафор и повышение уровня абстракции описания задачи с исключением деталей низкоуровневой реализации; использование технологий, позволяющих обеспечить построение эффективных решений. При этом исключительную роль играют активности по выявлению, обобщению, документированию, внедрению, мониторингу и оптимизации лучших практик организации, что соответствует введению управления процессами и отличают предприятия третьего уровня зрелости (defined level) согласно модели CMMI (capability maturity model integration). Стандарты в данном случае являются ценными активами (asset) предприятия, формирующими основу стратегии достижения его устойчивой работы [1], которая заключается в эффектив-

ном планировании активностей и ресурсов; прогнозировании и управлении рисками; повторному использованию уже отработанных, качественных процессов и компонентов. Вопрос формы описания и представления информации о компоненте, ее полезность для разработки подобных компонентов и адаптации компонента под другие условия являются актуальным вопросом.

Анализ последних публикаций. Одним из вариантов решения данных проблем является представление высокоуровневого, человеко-ориентированного описания компонента с возможностью его дальнейшей трансформации в вид приемлемый для выполнения вычислительной системой, либо существенно облегчающий процесс разработки.

В качестве эффективных подходов по оптимизации разработки можно выделить следующие: полная или частичная генерация кода путем трансформации некоторого более абстрактного описания задачи (заданного в декларативной форме) в формализованную форму ЯП (язык программирования) [2-4]; интерпретация некоторой модели, описывающей систему [5-9]. Оба эти подхода базируются на повышении абстракции описания задачи и создании механизмов ее трансформации. Также важную роль играют проекты, направленные на создание ценных активов, выявление и обеспечение быстрого поиска необходимых решений, что соответствует основным задачам уровня 3 подхода СММІ. Для этих целей используется механизм баз знаний онтологий (семантических сетей) [6], концепты которой проходят путь строгой формализации. Самым высоким уровнем абстракции описания задачи следует считать формализованные функциональные требования или прецеденты (use-cases) системы, основу которых составляют сценарии взаимодействия «актер-система» (базовый и альтернативный), при этом выделяется три уровня описания прецедентов (бизнес, система, компонент), а формализация производится на базе шаблонов и глоссария [10]. Следует отметить, что прецеденты являются основой не только разработки, но также и выделения требований, заданий и планирования, различных видов тестирования и документации. В литературе очень хорошо освещены вопросы описания прецедентов уровня системы, но по поводу описания прецедентов уровня компонентов работ очень немного [11]. В конечном итоге прецеденты компонентного уровня выражаются в требованиях (features

and requirements) и ряде диаграмм UML, теряя при этом последовательность, полноту и гибкость описания. Важно отметить, что при переводе прецедента с уровня системы на уровень компонентов важную роль играет архитектура системы.

Постановка задачи. Как правило, для реализации типовой функции-прецедента уровня системы, описанной базовым и альтернативным сценариями, необходимо затронуть большее количество уровней системы. На рис. 1 показана связь прецедента с типовым набором основных и вспомогательных уровней системы.

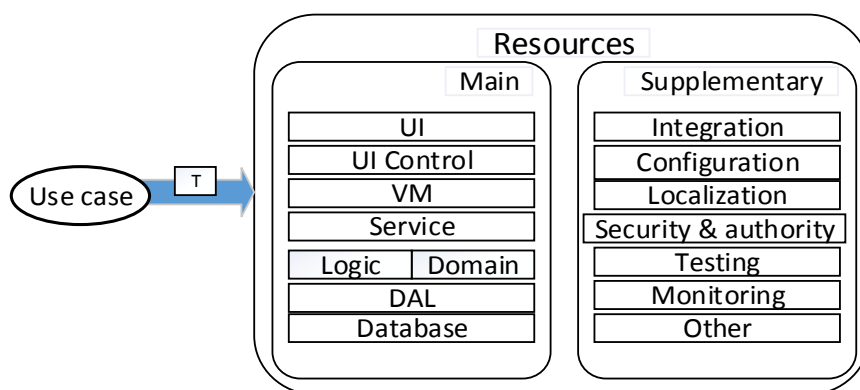


Рисунок 1 – Связь прецедента с ресурсами, необходимыми его реализации

Число уровней, с одной стороны, делает систему более гибкой и устойчивой к изменениям, с другой – усложняет ее сопровождение. Путь перехода на чистые языки высокой абстракции чреват потерей гибкости. Предлагаемые подходы описания моделей не дают ожидаемого эффекта в ключе облегчения построения системы с использованием средств генерации/интерпретации: нет возможности полноценной генерации логики, не учитывается полный спектр ресурсов, необходимых для реализации функции. Это происходит из-за ограничений средств описания предметной области, которые базируются на графической модели представления знаний. Таким образом, основное внимание в работе сфокусировано на задаче поиска упрощенного, высокоуровневого, полного описания системы с возможностью полноценной трансформации этого описания в форму, позволяющих полностью или частично реализовать (путем генерации/интерпретации) ресурсы, необходимые для реализации поставленной задачи.

В качестве основы используется фреймовая парадигма [12] и идея послойного описания системы согласно MDA (Model driven architecture) [2-4]. Подход MDA базируется на определении системы

на трех базовых уровнях: бизнес-процесс (CIM – Computation Independent Model), система (PIM – Platform Independent Model), компонент (PSM – Platform Specific Model). В качестве основного языка описания моделей используется UML (unified modelling language). Для преобразования моделей одного уровня в другой используются трансформации, благодаря которым модели уровня PIM, отвечающих за архитектуру системы, могут быть преобразованы в модели уровня PSM, описывающие структуру и поведение компонентов (база данных, бизнес логика, сервисы). Основными проблемами, которые стоят перед разработчиками являются: формальное описание бизнес-процессов на уровне CIM, трансформация и отслеживание зависимостей «CIM-PIM», представление поведенческой составляющей и полнота генерации кода.

Основная часть. Информационная система может быть представлена в виде множества документов-фреймов, отвечающих за реализацию той или иной функции (напр., визуальное программирование, 1С). Документы-фреймы могут быть не визуальными (например, справочники системы), но связаны с реализацией одного или нескольких прецедентов уровня системы. В качестве аналогии можно привести подход ICONIX [13], согласно которому создание storyboard является первым шагом и объединяющим началом последующей разработки: формирования и детализации функциональных требований, описание домена.

Документы включают в себя множество блоков-слотов, которые являются независимыми повторяющимися функциональными блоками, но отвечают не только за представление данных, реализацию функций, но и за любые ресурсы, которые необходимы для решения задачи, стоящей перед документом-фреймом. Для описания блоков-слотов используется механизм «граней» (facet), отличающий фреймовые системы от объектно-ориентированного подхода. Грани дают возможность полно описать блоки-слоты, что создает базу для полноценной трансформации модели. Важной особенностью является то, что один и тот же блок может входить в состав разных документов, что создает основу для повторного использования. Диаграмма на рис. 2 показывает отношения между документами, блоками и гранями. Важной особенностью является связь документов с типами пользователей, чем обеспечивается гибкость управления конфигурациями приложения. В более сложном ва-

рианте могут быть введены дополнительные связи «тип пользователя – блок документа» и «тип пользователя – грань блока документа».

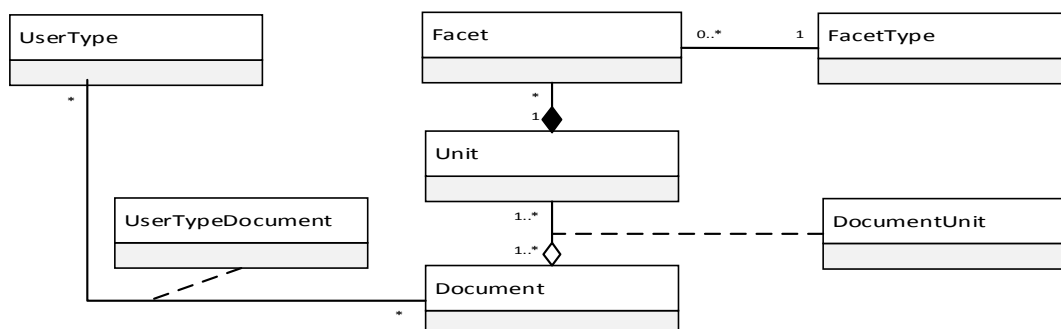


Рисунок 2 – Схема модели представления метайнформации

Описание системы производится на уровнях CIM и PIM, с последующей генерацией/интерпретацией классов уровня PSM. В качестве модели CIM нами предлагается использовать фреймовое описание знаний о решаемой задаче с указанием ресурсов, необходимых для ее решения без указания специфики (сборок, запросов, исключений). Можно также предположить возможность преобразования формализованных сценариев прецедентов в предлагаемое фреймовое представление, что выходит за рамки данной работы.

Например, документ редактирования справочников государств описывается таким образом.

```

document:stateEditor
{
    units:
    stateCollection:itemCollection;
    ...
}
unit:stateCollection
{
    facets:
    ref -> domain.state;
}
domain.state
{
    asm:Common.Infrastructure.Domain;
    cn:Common.Infrastructure.Domain.StateBase;
}
  
```

Суффикс "Editor" подразумевает перечень необходимых функций (CRUD), а основным ресурсом является коллекция государств, которая определяется соответствующим блоком. Блок не содержит специфической информации, а включает лишь ссылку на ресурс domain.state, который в свою очередь определяет объект уровня PIM

(эта ссылка описывает переход CIM2PIM). По содержимому ресурса domain.state определяется объект уровня PIM, содержащий все необходимые детали для последующей генерации объектов уровня PSM.

```
State<entity> (abstract) : VocabularyItem
{
    RegionCollection:Region[], nrmax=*;
    (ns) XMIS.Core.Domain.Address; (asm) XMIS.Core.Domain;
}
Region<entity> (abstract) : VocabularyItem
{ ... }
```

Взаимосвязь моделей с реализацией системы (множеством ресурсов, обеспечивающих работу системы) наглядно представлена на рис.3.

Так, на базе модели PIM производится генерация объектов, связанных с архитектурой приложения. Не только стандартных SQL и доменных классов, но и ряда вспомогательных, продиктованных архитектурой, ресурсов, связанных с пользовательским интерфейсом, доступом к данным, интерфейсно-ориентированным программированием. На основании метainформации, представленной в виде «документ блок - грань» производится динамическое создание классов, отвечающих за бизнес логику.

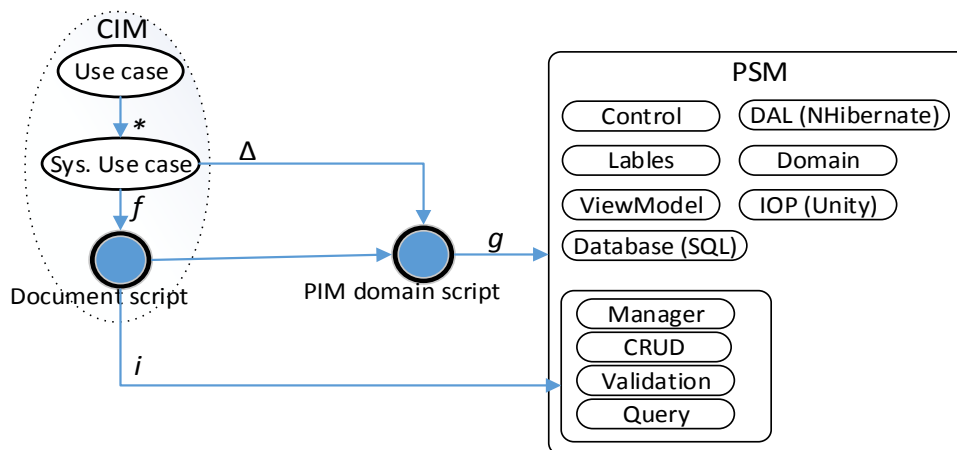


Рисунок 3 – Взаимосвязь моделей с реализацией системы

Вывод. В статье представлена интерпретация модельно-ориентированного подхода, упрощающего 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. Рассмотрены также вопросы управления конфигурацией системы. Данный подход был опробован на построении ряда типовых проектов и показал эффективные результаты.

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. David S. Frankel. Model Driven Architecture: Applying MDA to Enterprise Computing. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 2003. – 352 p.
3. Kevin Lano. Advanced Systems Design with Java, UML and MDA. Kings College, London, UK. 2005. – 416 p.
4. David S. Frankel, John Parodi. The MDA Journal: Model driven architecture Straight from the Masters. Meghan-Kiffer Press. 2004. – 219p.
5. Yonggang Zhang. An ontology-based program comprehension model. A Thesis in the Department of Computer Science and Software Engineering. Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of philosophy at Concordia University Montreal, Quebec, Canada. 2007. – 207 p.
6. Andrej Bachmann, Wolfgang Hesse etc. OBSE – an approach to Ontology-based Software Engineering in the practice. Philipps-University Marburg University of Klagenfurt, Hans-Meerwein-Strasse Universitätsstraße 65 - 67 35032 Marburg 9020 Klagenfurt. 2007. – 14 p.
7. T. Gruber, S. Vemuri, and J. Rice. Model-Based Virtual Document Generation. International Journal of Human-Computer Studies. 1997. –20 p.
8. Hesse, W. Ontologies in the software engineering process. Berlin, Germany. GITO-Verlag, 2005. – 13 p.
9. Falbo, Guizzardi, et al. An Ontological Approach to Domain Engineering. Proceedings of the 14th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, 2002. – 8 p.
10. Cockburn A. Writing Effective Use Cases. Addison-Wesley Professional. 2000. – 304 p.
11. Blake M.B., Cleary K., Ranjan S., Ibbcz L., Gary K. Use case-driven component specification: a medical applications perspective to product line development. Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Applied Computing (SAC), ACM, :1470-1477, Jan-2005.
12. Марвин Мински. Фреймы для представления знаний. Издательство: «Мир». 1979. – 152 с.
13. Doug Rosenberg, Matt Stephens. Use Case Driven Object Modeling with UML: Theory and Practice. Apress (January 10, 2007). – 438 p.

А.И. Ивон, В.Ф. Истушкин

ЧАСТОТА МОДУЛЯЦИИ ТАКТОВОГО СИГНАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЖИМА ТРОТТЛИНГА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОЦЕССОРА ОТ ПЕРЕГРЕВА

Аннотация. Выполнен расчет частоты модуляции f_m тактового сигнала процессора при использовании критического терморезистора на основе диоксида ванадия для реализации режима троттлинга. Показано, что f_m линейно увеличивается с ростом средней затраты энергии на выполнение машинной команды и линейно уменьшается с ростом температуры окружающей среды Q , когда $Q \ll T_t - \Delta T/2$. Частота модуляции стремится к нулю, когда Q стремится к температуре фазового перехода металл-полупроводник $T_t = 68^\circ\text{C}$.

Ключевые слова: защита процессора от перегрева, режим троттлинга, V02, критические терморезисторы.

Введение. Эффективным средством защиты процессора от перегрева является режим троттлинга. В этом режиме, при нагреве процессора выше предельно допустимой температуры, включается режим модуляции частоты тактового сигнала [1]. Как следствие, появляются пустые такты, в течение которых процессор не выполняет машинные команды. Энергопотребление снижается и процессор остывает. При достижении определенной температуры режим модуляции частоты выключается, и процессор начинает работать с прежней производительностью. Если вновь возникает перегрев, процессор опять переходит в режим троттлинга. Так продолжается пока не будет выполнен участок программы, требующий энергоемких ресурсов аппаратуры процессора. Характерной особенностью режима троттлинга является то, что температура процессора совершает колебания, частота которых совпадает с частотой модуляции тактового сигнала.

Ранее для защиты процессора от перегрева был предложен простой способ аппаратной реализации режима троттлинга, который основан на использовании диоксиднованадиевых критических терморезисторов [2]. В работе [3], в рамках этого способа, выполнен анализ

зависимости производительности процессора в режиме троттлинга от средней энергии, затрачиваемой на выполнение машинной команды E_{in} . Представляет интерес так же анализ зависимости частоты модуляции тактового сигнала от величины E_{in} .

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является установление связи между частотой модуляции тактового сигнала в режиме троттлинга и средней энергией, затрачиваемой на выполнение машинной команды E_{in} .

Основная часть. Характерной особенностью критических терморезисторов на основе VO2 является скачок электрического сопротивления, более двух порядков, возникающий при фазовом переходе металл-полупроводник (рис. 1). Температура фазового перехода $T_t=68^\circ\text{C}$ близка к температуре 90°C , при которой, согласно техническим нормам, должны включаться аппаратные и программные средства защиты процессора от перегрева [1]. Заметим также, что для температурной зависимости сопротивления критических терморезисторов на основе VO2 характерен гистерезис, связанный с физикой фазового перехода металл-полупроводник (ФПП). Гистерезис проявляется в том, что при нагревании скачок сопротивления происходит при температуре $T_t + \delta t/2$, а при охлаждении – при температуре $T_t - \delta t/2$ (рис. 1). Ширина петли температурного гистерезиса δt зависит от чистоты и стехиометрии диоксида ванадия и может составлять от 2 до 10°C [4].

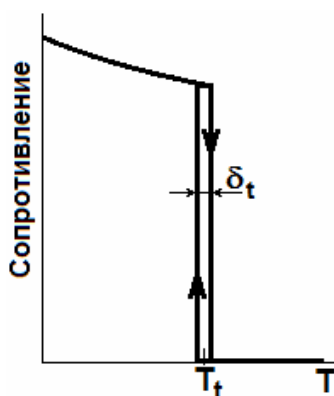


Рисунок 1 – Температурная зависимость электрического сопротивления критического терморезистора на основе VO₂

С учетом температурного гистерезиса, критический терморезистор в режиме троттлинга, при его хорошем тепловом контакте с чипом процессора, должен включать модуляцию тактового сигнала, ко-

гда температура процессора достигнет значения $T_t + \delta t/2$ и выключать при остывании процессора до температуры $T_t - \delta t/2$. Поэтому в режиме троттлинга, реализованного с помощью схемы, предложенной в [2], температура процессора испытывает колебания в интервале $T_t - \delta t/2 \leq T \leq T_t + \delta t/2$. Частота этих колебаний совпадает с частотой модуляции тактового сигнала f_m . Эту частоту можно оценить, если найти интервал времени t_w , соответствующий нагреву процессора, и интервал времени t_c , соответствующий его охлаждению в указанном выше интервале температур. Частота модуляции f_m может быть определена через эти интервалы времени как

$$f_m = 1/(t_w + t_c). \quad (1)$$

Выполним анализ f_m с учетом того, что тактовая частота процессора f , количество команд выполняемых за один такт n , а средние затраты энергии на выполнение машинной команды E_{in} превышают минимальную энергию $E_{in \min}$, при которой процессор переходит в режим троттлинга [3]. Учтем также, что токи через терморезистор для контроля температуры процессора, невелики и не вызывают его разогрев. Для упрощения анализа примем, что температура TCU одинакова во всех точках процессорного чипа и совпадает с температурой критического терморезистора. Тогда уравнение теплового баланса, описывающее изменение температуры процессора и критического терморезистора при нагревании, имеет вид:

$$C_{CU} \frac{d\Delta T}{dt} + K_{CU} \Delta T = n f E_{in}, \quad (2)$$

где C_{CU} – теплоемкость процессорного чипа; t – время; $\Delta T = T_{CU} - Q$ – температура перегрева процессора; Q – температура окружающей среды; K_{CU} – коэффициент теплообмена процессора с окружающей средой.

Из уравнения (2) вытекает, что в стационарном режиме, когда $d\Delta T/dt = 0$, температура перегрева процессора равна

$$\Delta T = \frac{n f E_{in}}{K_{CU}}. \quad (3)$$

Эта температура растет при увеличении тактовой частоты f , количества команд, выполняемых за один такт n , и средней энергии, затрачиваемой на выполнение машинной команды E_{in} . При фиксированных значениях f и n увеличение температуры процессора проис-

ходит за счет выполнения блоков программ, требующих привлечения энергоёмких аппаратных ресурсов процессора, когда E_{in} возрастает. Поскольку процессор переходит в режим троттлинга при температуре перегрева $\Delta T_t + \delta t/2$, из уравнения (3) можно получить выражение для минимальной средней энергии $E_{in \min}$, затрачиваемой на выполнение машинной команды, при которой обеспечивается режим троттлинга:

$$E_{in \min} = \frac{K_{CU}}{nf} \left(\Delta T_t + \frac{\delta_t}{2} \right), \quad (4)$$

Решение (2) при начальных условиях $t=0$, $\Delta T = \Delta T_t - \delta t/2$ имеет вид:

$$\Delta T = \frac{nfE_{in}}{K_{CU}} - \left(\frac{nfE_{in}}{K_{CU}} - \left(\Delta T_t - \frac{\delta_t}{2} \right) \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_{CU}} \right), \quad (5)$$

где $\tau_{CU} = C_{CU}/K_{CU}$ – тепловая постоянная времени процессора.

С учетом (4) уравнение (5) можно преобразовать к виду:

$$\Delta T = \frac{E_{in}}{E_{in \min}} \left(\Delta T_t + \frac{\delta_t}{2} \right) - \left(\frac{E_{in}}{E_{in \min}} \left(\Delta T_t + \frac{\delta_t}{2} \right) - \left(\Delta T_t - \frac{\delta_t}{2} \right) \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_{CU}} \right). \quad (6)$$

Интервал времени t_w , в течение которого процессор в режиме троттлинга нагревается от температуры $T_t - \delta t/2$ до температуры $T_t + \delta t/2$, можно найти, подставив в (6) $\Delta T = \Delta T_t + \delta t/2$ и $t = t_w$:

$$t_w = \tau_{CU} \ln \left(1 + \frac{\delta_t}{\left(\frac{E_{in}}{E_{in \min}} - 1 \right) \left(\Delta T_t + \frac{\delta_t}{2} \right)} \right). \quad (7)$$

В интервале времени t_c , когда процессор охлаждается от температуры $T_t + \delta t/2$ до температуры $T_t - \delta t/2$ и не выполняет машинных команд $E_{in}=0$. Поэтому уравнение теплового баланса (2) принимает вид:

$$\frac{d\Delta T}{dt} + \frac{\Delta T}{\tau_{CU}} = 0. \quad (8)$$

Решение этого уравнения при начальных условиях $t=0$, $\Delta T = \Delta T_t + \delta t/2$ описывает кинетику охлаждения процессора в режиме троттлинга:

$$\Delta T = \left(\Delta T_t + \frac{\delta_t}{2} \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_{CU}} \right). \quad (9)$$

Интервал времени t_c найдем, подставив в (9) $t = t_c$, $\Delta T = \Delta T t - \delta t / 2$

$$t_c = \tau_{CU} \ln \left(\frac{\Delta T_t + \frac{\delta_t}{2}}{\Delta T_t - \frac{\delta_t}{2}} \right). \quad (10)$$

С учетом соотношений (1), (7) и (10) частота модуляции тактового сигнала f_m в режиме троттлинга описывается следующей формулой:

$$f_m = \frac{1}{\tau_{CU}} \ln \left(\frac{T_t - Q + \frac{\delta_t}{2}}{T_t - Q - \frac{\delta_t}{2}} + \frac{\delta_t}{\left(\frac{E_{in}}{E_{in \min}} - 1 \right) \left(T_t - Q - \frac{\delta_t}{2} \right)} \right)^{-1}. \quad (11)$$

Как видно из (11) частота модуляции f_m определяется тепловой постоянной времени процессора τ_{CU} . Она стремится к нулю, когда средняя энергия, затрачиваемая на выполнение машинной команды E_{in} , стремится к значению $E_{in \min}$. При неограниченном увеличении E_{in} , частота модуляции стремится к максимальному значению, определяемому соотношением:

$$f_{m \max} = \frac{1}{\tau_{CU}} \ln \left(\frac{T_t - Q + \frac{\delta_t}{2}}{T_t - Q - \frac{\delta_t}{2}} \right)^{-1}. \quad (12)$$

Из (11), (12) следует, что частота модуляции тактового сигнала в режиме троттлинга зависит от температуры окружающей среды Q . При фиксированном отношении $E_{in}/E_{in \min} > 1$, когда реализуется режим троттлинга, частота модуляции уменьшается с ростом температуры окружающей среды. Когда Q стремится к значению $T_t - \delta t / 2$, частота модуляции стремится к нулю. Критический терморезистор на основе VO_2 не имеет возможности перейти в состояние с высоким сопротивлением при $Q \geq T_t - \delta t / 2$. Поэтому подача тактовых импульсов в процессор блокирована, и программа не выполняется.

В интервале температур окружающей среды, когда выполняется условие $T_t - Q \gg \delta t / 2$, логарифмическую функцию в (11) можно разложить в ряд, ограничившись первым членом разложения. Это приводит к более простому выражению для частоты модуляции:

$$f_m = \frac{1}{\tau_{CU}} \frac{T_t - Q}{\delta_t} \left(\frac{E_{in}}{E_{in \min}} - 1 \right), \quad (13)$$

Из (13) следует, что частота модуляции тактового сигнала в режиме троттлинга линейно увеличивается с ростом средней затраты энергии на машинную команду E_{in} и линейно убывает с ростом температуры окружающей среды.

Выводы. В области температур окружающей среды $Q \ll T_t - \delta t/2$, частота модуляции тактового сигнала процессора в режиме троттлинга линейно растет при увеличении средней затраты энергии на машинную команду E_{in} и линейно уменьшается с ростом Q . Когда температура окружающей среды Q стремится к температуре фазового перехода металл-полупроводник $T_t = 68^\circ\text{C}$ в VO_2 , частота модуляции стремится к нулю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Функции управления производительностью и энергопотреблением процессоров Intel Pentium 4 и Intel Xeon. Часть 2: новые процессоры, новые технологии [Электронный ресурс] / Д. Беседин // iXBT – 2004 – Режим доступа: <http://www.dvgu.ru/meteo/PC/IntelThermal-2.html>. – Загл. с экрана.
2. Ивон А.И. Использование критических терморезисторов для аппаратной реализации режима троттлинга центрального процессора [Текст] / А.И. Ивон, А.А. Андреев, Л.А. Можаровский. // Системні технології: сб. наукових праць. – Дніпропетровськ, 2009. – В. 1 (60). – С. 87 – 92.
3. Ивон А.И. Производительность центрального процессора в режиме троттлинга [Текст] / А.И. Ивон, В.Ф. Истушкин // Системні технології: сб. наукових праць. – Дніпропетровськ, 2013. – В. 1 (84). – С. 31 – 36.
4. Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. – Л.: Наука, 1979. – 183 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ WEB-САЙТОВ НА БАЗЕ CMS DRUPAL

Аннотация. Предложены методы ускорения работы сайта на базе CMS Drupal. Используются различные уровни кэширования, настройка специализированных модулей, оптимизация баз данных и программного кода.

Ключевые слова: сайт, база данных, оптимизация, кэширование, модуль, производительность, ядро, CMS, Drupal, PHP, MySQL.

Введение. При современном развитии интернета вопрос ускорения работы сайтов является очень актуальным. Большое количество сайтов создается с помощью систем управления содержимым (CMS), которые позволяют уменьшить время разработки сайта и упрощают его сопровождение. Однако недостатком таких сайтов является невысокое их быстродействие, так как система накапливает много ресурсов и кода, что плохо влияет на скорость доступа к сайту.

Поэтому, стоит задача исследовать средства и методы повышения быстродействия работы сайтов, как общие, так и специфические для CMS Drupal – одной из самых распространенных систем управления содержимым.

Постановка задачи. Необходимо исследовать методы ускорения работы сайта на базе CMS Drupal, определить преимущества и недостатки каждого метода и комбинаций методов.

Основная часть. Drupal представляет собой многомодульную платформу с открытым кодом, предназначенную для совместного управления содержимым сайта многими пользователями. Интегрированная среда и шаблонная система тем оформления полностью написаны на PHP.

Важное средство оптимизации сайта – это оптимизация кода PHP. Ее можно разделить на несколько методов.

1. Применение кэширования. В целом ряде случаев кэширования просто незаменимо. Суть кэширования сводится к созданию кэша

из наиболее часто используемых и наиболее редко изменяемых данных.

2. Оптимальное применение баз данных (БД). Следует помнить, что каждое подключение к БД, каждый запрос, каждая лишняя таблица в запросе и т.д. – все это создает ощутимую нагрузку.

3. Буферизация, сжатие. В процессе выполнения все данные, которые выводятся пользователю, тут же ему и отправляются. Выполнения кода приостанавливается, пока данные не будут забраны. Если в процессе работы скрипт отправляет готовый HTML-код через функцию echo, например, или любым другим методом, то скрипт передает данные по частям, каждый раз приостанавливая выполнение. Лучшим методом является вывод данных в буфер с дальнейшей их передачей в сжатом виде.

4. Использование оптимизирующих модулей. Модули ZendOptimizer и eAccelerator главным образом занимаются оптимизацией и динамичным кэшированием откомпилированного PHP кода. Часто позволяют поднять производительность почти в десятки раз. Их применение имеет смысл в первую очередь на достаточно больших проектах, хотя можно оптимизировать и любые другие сайты на PHP.

5. Ограничение использования функций готовых библиотек. Функции всегда требуют некоторых дополнительных ресурсов. Подключение готовых библиотек «съедает» львиную долю производительности.

Однако для сайтов, разработанных на базе системы управления содержимым Drupal, первым шагом является оптимизация сайта с помощью внутренних возможностей системы.

Для этого необходимо соблюдать основные шаги улучшения скорости загрузки сайта для пользователей:

- 1) отключение всех неиспользуемых модулей;
- 2) использование встроенного кэширования Drupal;
- 3) настройка компрессии страниц.

При использовании компрессии, страницы сайта передаются в сжатом виде, что увеличивает нагрузку на сервер, но снижает время загрузки страниц посетителями сайта.

Второй шаг – оптимизация Drupal с помощью модулей.

Модуль `AuthenticatedUserPageCaching` (`Authcache`) позволяет кэшировать страницы, как для анонимных пользователей, так и для авторизованных пользователей более качественно, чем встроенное кэширование Drupal.

Модуль `Boost` позволяет кэшировать статические страницы, добавляя значительную производительность и масштабируемость для сайтов, которые получают главным образом анонимный трафик.

Модуль `Speedy` предназначен для ускорения производительности интерфейса на сайте. Он обеспечивает уменьшенную версию основных файлов JavaScript, которые еще не минимизированы.

Третий шаг – оптимизация базы данных.

При частом обновлении CMS Drupal содержимого таблиц БД MySQL, особенно служебных таблиц, последние подвергаются фрагментации, что снижает быстродействие сервера БД и скорость выполнения запросов на чтение. Для решения проблемы необходимо периодически дефрагментировать таблицы MySQL с помощью команды `OPTIMIZE TABLE`. Для оптимизации таблиц БД используется специализированный модуль `Drupaldb_maintenance`.

Четвертый шаг – специфические настройки модулей.

Значительно ускорить работу Drupal-сайта при высокой посещаемости, а также уменьшить дисковое пространство можно, уменьшив размер ведения логов и статистики.

Пример реализации. Рассмотренные методы ускорения работы сайта были протестированы на примере интернет-магазина, написанного на базе CMS Drupal. Чтобы понять, как сайт будет выдерживать нагрузки и запросы от многих пользователей, воспользовались сервисом тестирования сайтов <https://loadimpact.com/>. Этот сервис имитирует запросы к URL большим количеством пользователей одновременно анализирует трафик, время отклика сайта и время загрузки страницы отдельных составных частей трафика, поступающего с сайта.

Перед оптимизацией сайта, было проведено тестирование для определения быстродействия страниц. Получили среднее время загрузки страницы сайта, при постепенном увеличении пользователей онлайн, достигает от 15 до 25 секунд. Настройки тестов во всех случаях тестирования приведены в табл. 1.

На первом шаге ускорения работы сайта подключили и настроили оптимизирующие компоненты CMS Drupal: встроенные воз-

возможности ядра и модули оптимизации и кэширования. Провели анализ быстродействия страницы сайта после этих действий (табл.2).

Таблица 1

Конфигурация сервиса тестирования

URL	http://ant-shop.com.ua/
Пользователи	SimulatedBrowserUsers
Количество пользователей	50
Время выполнения теста	5 минут
Место, с которого приходят запросы пользователей	Эшбурн, США

Таблица 2

Конфигурация тестирования быстродействия. Шаг 1

Параметр конфигурации	Статус	Комментарии
Пользователь	<i>anonymous</i>	Кэш работает
Встроенный кэш ядра Drupal	<u><i>включен</i></u>	Кэширование блоков и страниц для анонимных пользователей в базе данных
Модуль Boost	<i>выключен</i>	Создание статических страниц для анонимных пользователей
Модуль AuthCache	<u><i>включен</i></u>	Кэширование страниц для зарегистрированных и анонимных пользователей
Модуль FileCache	<u><i>включен</i></u>	Размещение кэшированных страниц в файлах, а не в базе данных
Модуль Speedy	<u><i>включен</i></u>	Уменьшенные и оптимизированные файлы JavaScript
Оптимизация таблиц базы данных MySQL	<i>Не проведена</i>	
Оптимизация CSS и JavaScript ядром Drupal	<u><i>включен</i></u>	Предоставляет файлы стилей и скриптов одним файлом вместо нескольких
Оптимизация кода PHP	<i>Не проведена</i>	

Включение кэширования, как встроенного в ядро системы, так и в специализированных модулях, и оптимизация файлов CSS

иJavaScripty скорили работу сайта в 2-3 раза отначальных значений. Теперь загрузка страницы составила примерно 5 секунд.

На следующем шаге были включены дополнительные модули оптимизации кэширования, оптимизированы таблицы в базе данных и коды PHP нескольких модулей. Настройка и конфигурирование модулей для тестов приведена в табл.3.

Таблица 3

Конфигурация тестирования быстродействия. Шаг 2

Параметр конфигурации	Статус	Комментарии
Пользователь	<i>admin</i>	Кэш работает.
Встроенный кэш ядра Drupal	<u>включен</u>	Кэширование блоков и страниц для анонимных пользователей в базе данных
Модуль Boost	<u>включен</u>	Создание статических страниц для анонимных пользователей
Модуль AuthCache	<u>включен</u>	Кэширование страниц для зарегистрированных и анонимных пользователей
Модуль FileCache	<u>включен</u>	Размещение кэшированных страниц в файлах, а не в базе данных
Модуль Speedy	<u>включен</u>	Уменьшенные и оптимизированные файлы Javascript
Оптимизация таблиц базы данных MySQL	<u>Проведена</u>	
Оптимизация CSS и JavaScript ядром Drupal	<u>включен</u>	Предоставляет файлы стилей и скриптов одним файлом вместо нескольких
Оптимизация кода PHP	<u>Проведена</u>	

Результаты более чем удовлетворительные, среднее время загрузки страницы сократилось до 3 секунд (рис. 1).

Оптимизация базы данных, кода PHP, включение статического кэширования файлов с помощью специализированного модуля Boost и других модулей помогли дополнительно оптимизировать сайт.

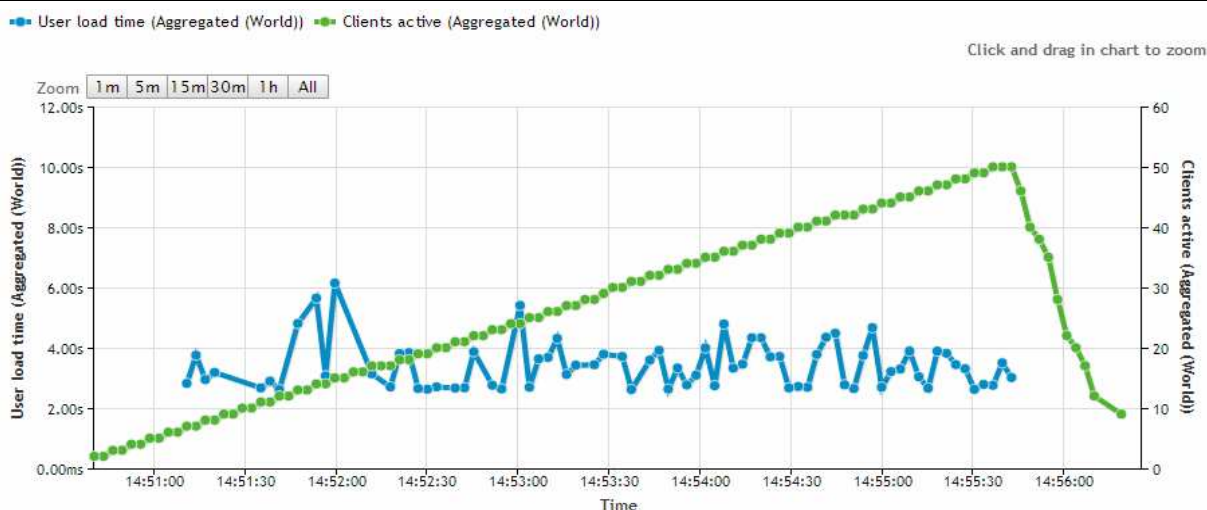


Рисунок 1 – Время загрузки страницы в зависимости от количества посетителей

Выводы. После выполнения оптимизации и внедрения методов повышения быстродействия, установки дополнительных модулей, оптимизации базы данных и PHP кода, получены такие результаты:

- время загрузки страницы в целом уменьшалось с 15-25 секунд до 3 секунд;
- количество запросов к серверу уменьшилось вместе с кэшированием страницы.

В результате проведенного исследования сделаны следующие выводы о методах оптимизации сайтов на базе CMS Drupal и порядке их применения.

В первую очередь должны быть использованы методы внутренних возможностей системы – настройка встроенного кэша и оптимизация ядра. Затем подключаются и настраиваются специализированные модули, проводится оптимизация баз данных. И только потом, в случае недостаточных результатов, - оптимизация с помощью модификации существующего программного кода.

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.

А.А. Литвинов, Г.В. Полухин, В.В. Истомина

ОЦЕНКА И ОБНАРУЖЕНИЕ МЕДИЦИНСКИХ СТАНДАРТОВ КЛИНИКИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. В работе рассмотрен алгоритм оценки существующих и обнаружения новых расширенных медико-экономических стандартов, суть которого заключается в эволюционном исследовании существующих стандартов с использованием дополнительных параметров. Такой подход позволяет выявить объективную причину отклонения, обнаружить устойчивые статистические группы, усовершенствовать стандарты, которые создают основу для системы планирования ресурсов медицинского учреждения.

Ключевые слова: стандарт, протокол, анализ информации, сервис.

Введение. В настоящее время в области здравоохранения организуются работы по стандартизации, с целью повышения эффективности и качества медицинской помощи. Высокое качество такой помощи невозможно без современных технологий, которые базируются на стандартах диагностики и лечения, преследующих цель использования наиболее эффективным и экономически выгодным способом [1]. При этом стандартизация играет важнейшую роль в учреждениях как государственного, так и частного типа. Это вполне соответствует действиям по выявлению, обобщению, документированию, внедрению, мониторингу и оптимизации лучших практик организации, что соответствует введению управления процессами и отличают предприятия третьего уровня зрелости (defined level) согласно модели СММИ (capability maturity model integration). Стандарты в данном случае являются ценными активами (asset) предприятия, формирующими основу стратегии достижения его устойчивой работы [2], которая заключается в эффективном планировании активностей и ресурсов; прогнозировании и управлении рисками; повторному использованию уже отработанных, качественных схем диагностики и лечения.

Стандарт медицинской помощи можно определить как множество протоколов, которые отображают специфику услуг для клиниче-

ского состояния [1, 3], учитывая при этом множество разных параметров, связанных с состоянием и образом пациента (напр.: возраст, пол, вес, реакция на препараты и пр.) и влияют на необходимость выполнения тех или других лечебных/диагностических активностей. Активности и ресурсы могут определяться как обязательные и необязательные (возможна шкала приоритетов) и варьироваться для одной и той же группы пациентов создавая в свою очередь различные протоколы (напр., применение более дорогостоящих препаратов гарантирует более быстрое выздоровление).

Постановка задачи. Важным аспектом стандарт-ориентированного подхода является обязательное наличие фазы мониторинга и оптимизации стандартов, которые тесно связаны с информационными технологиями [4]. Целью данной работы является разработка метода автоматизированной проверки существующих и поиска новых, расширенных стандартов, учитывающих весь комплекс параметров, влияющих на выбор лечебной тактики, применение ресурсов.

Основная часть. Существует два основных полярных пути выделения стандартов: построение экспертом на базе опыта и автоматизированное обнаружение групп больных на основании статистических данных с применением методов business intelligence. Недостатками метода описания стандартов экспертом является трудоемкость процесса. Несмотря на мощь и многообразие существующих средств business intelligence имеет место ряд ограничений существенно влияющих на их использование для решения задачи обнаружения и совершенствования стандартов. К ним можно отнести: высокую стоимость; высокие требования к ресурсам компьютера; сложность сопровождения подобных систем, которое создает преграду для работы с аналитическими отчетами простым пользователям и ведет к содержанию квалифицированного обслуживающего персонала.

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, приобретая некоторый уровень зрелости. 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.

Рассмотрим предметную область. Начальное состояние обслуживания пациента – госпитализация пациента с определенным клиническим диагнозом, предполагающим проведение операции. В начальном состоянии пациент характеризуется рядом дополнительных характеристик: возраст, рост, вес, анамнез и т.д. Можно сказать, что совокупность характеристик формирует начальный образ пациента, основой этого образа является клиническое состояние и планируемая операция. После поступления пациент находится в состоянии подготовки к операции. На этой фазе есть риск более продолжительного предоперационного периода, который не предусмотрен стандартом и зависит от дополнительных характеристик. После проведения операции, возможен ряд возможных состояний, которые могут повлиять на существенное отклонение от плана лечения, заданного стандартом: осложнение операции с задержкой; осложнение лечения; повторная операция; более продолжительное пребывание в реанимации; более продолжительный послеоперационный период.

Алгоритм. На первом шаге экспертом формируется множество пар «клинический диагноз – операция», которые, как уже говорилось, являются корневыми элементами стандарта. 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. При этом экспертом могут быть заданы пороговые значения, для определения существенных отклонений от заданных показателей.

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

отдельного протокола, так как вероятность отклонения может не зависеть от деталей, связанных с субъективными особенностями лечения пациента, ошибками персонала, а диктуется объективными причинами (значениями параметров, характеризующих пациентов).

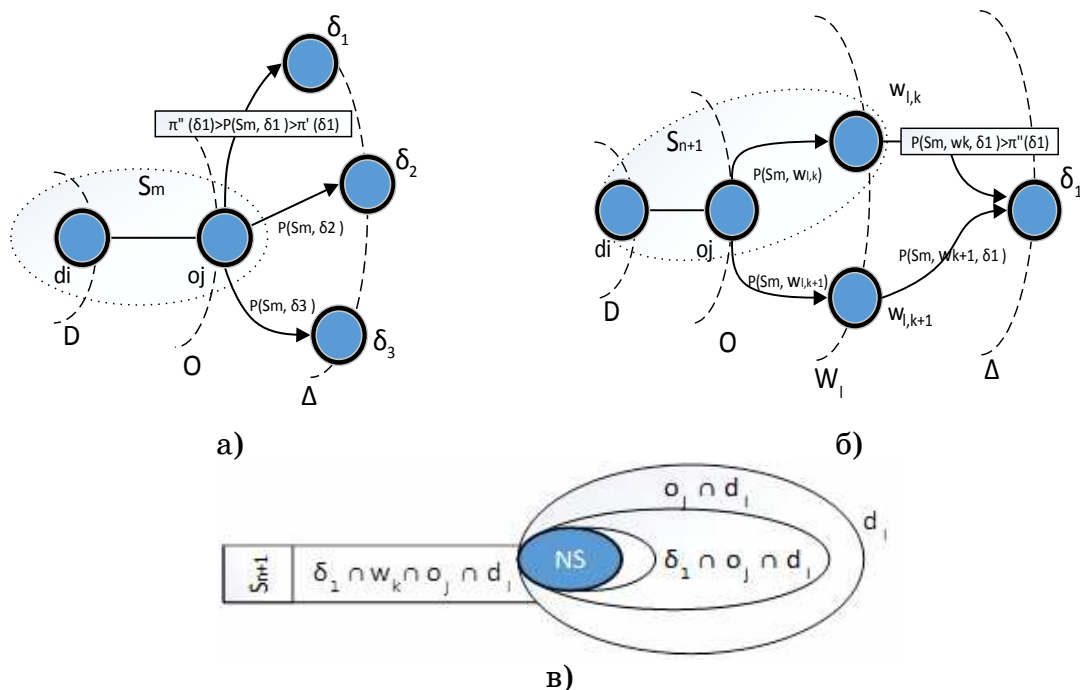


Рисунок 1 – Поиск причины отклонения от стандарта:

- а) нахождение отклонения от стандарта; б) «врезка» дополнительного параметра W_l для детализации отклонения. Обнаружение нового стандарта; в) множественное представление процедуры обнаружения стандарта.

Для формального описания алгоритма поиска причины отклонения введем следующие обозначения:

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

$o_i \subseteq O$ – подмножество пациентов с операцией;

$w_k \subseteq W_l$ – подмножество пациентов со значением параметра;

$W_l \subseteq W$ – параметр, множество значений которого является подмножеством общего множества параметров, определяющих образ и состояние пациента. Например, возрастные группы, пол, осложнение операции и пр.

$\delta_1 \in \Delta$ – отклонение по некоторому параметру, зафиксированному стандартом. Например, превышение послеоперационного пребывания в клинике на 2 дня или уменьшение времени операции на 10 минут.

$s_m^t \equiv d_i \cap o_j$, $s_m \in S^t$, $m \leq |S^t|$ – пара «клинический диагноз–операция» составляет стандарт в момент времени t до начала процедуры поиска отклонений.

π_{δ_1}' , π_{δ_1}'' – пороги для данного типа отклонений: порог для начала поиска причины отклонения (возможного выделения нового стандарта), порог для пересмотра стандарта. Важно отметить необходимость индивидуального подбора порогов: вероятность может быть достаточно мала, но последствия могут быть тяжелыми.

В случае с отклонениями в сторону превышения, верно соотношение $\pi_{\delta_1}' < \pi_{\delta_1}''$, иначе – $\pi_{\delta_1}' > \pi_{\delta_1}''$.

Для выбранной пары «диагноз–операция» анализируется параметров отклонений, основными из которых являются: отклонение по времени операции, отклонение по периоду лечения.

$$\frac{|s_m^t \cap \delta_1|}{|s_m^t|} > \pi_{\delta_1}'' \rightarrow \text{Update}(s_m^t, \delta_1). \quad (1)$$

При превышении порога π_{δ_1}'' необходимо провести корректировку протокола.

$$\pi_{\delta_1}'' \geq \frac{|s_m^t \cap \delta_1|}{|s_m^t|} > \pi_{\delta_1}' \rightarrow \text{Search}(s_m^t, \delta_1, W). \quad (2)$$

Если отклонение присутствует (выше порога π_{δ_1}') – провести исследование на предмет влияния дополнительных параметров на отклонение

$$\forall w_k \subseteq w_i \subseteq w. \frac{|s_m^t \cap \delta_1 \cap w_k|}{|s_m^t \cap w_k|} \geq \pi_{\delta_1}' \rightarrow s_{n+1}^{t+1} = s_m^t \cap w_k, n = |S^t|. \quad (3)$$

$s_{n+1}^{t+1} \in S^{t+1}$ $s_m^{t+1} \equiv s_m^t \setminus s_{n+1}^{t+1}$, $s_m^{t+1} \in S^{t+1}$, $m \leq |S^t|$ Если обнаруживается параметр, который влияет на отклонение выше порога π_{δ_1}'' , то на базе стандарта s_m^t создается новый стандарт s_{m+1}^{t+1} , при этом редактируется стандарт s_m^{t+1} .

$$\forall w_k \subseteq w_i \subseteq w. \pi_{\delta_1}'' \geq \frac{|s_m^t \cap \delta_1 \cap w_k|}{|s_m^t \cap w_k|} > \frac{|s_m^t \cap \delta_1|}{|s_m^t|} \rightarrow s_m^t \cap w_k \subseteq R. \quad (4)$$

Если параметр способствует увеличению отклонения (по сравнению со стандартным), но не превышает значение порога π_{δ_1}'' , такой параметр добавляется в упорядоченное множество R , содержащее

все результаты выборок по параметрам, отклонение которых превышает пороговое значение $\pi_{\delta 1}'$.

Далее выбирается набор с наибольшим значением отклонения и последовательно исследуются его пересечения с остальными наборами множества R с целью поиска отклонений, превышающих $\pi_{\delta 1}''$ и выделения новых стандартов.

Таким образом, осуществляется эволюционный процесс поиска причин отклонений на базе дополнительных параметров, с которыми могут быть связаны приоритеты, определяющие порядок исследования. Следует также отметить возможность распараллеливания процедуры поиска в рамках одного протокола: как видно из рис. 1. поиск отклонений может осуществляться разными потоками. Процедура может запускаться в фоновом режиме, формируя предложения по формированию новых стандартов, которые после подтверждения менеджером вступают в силу.

Вывод. Рассмотрен алгоритм оценки существующих и обнаружения новых расширенных медико-экономических стандартов, суть которого заключается в эволюционном 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзяк Г.В., Березницкий Я.С., Филиппов Ю.А. и др. Библиотека практического врача. Унифицированные клиничко-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. В.Н. Лехан, М.В.Павленко, А.А. Литвинов. Подход к автоматизации планирования лечения больных хирургического профиля. // Системные технологии. Рег. межвуз. сб. научн. работ. – Выпуск 5(64). – Днепропетровск, 2007. в 89-102 с.

Д.П. Сівцов, В.С. Хандецький, В.М. Григор'єв

ОЦІНКА ВИСОТИ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЛЬЄФУ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЦИФРОВОГО ОПТИЧНОГО СКАНУВАННЯ

Анотація. Викладені теоретичні і практичні результати дослідження методу вимірювання висоти елементів рельєфу поверхонь металевих деталей сонячних батарей з використанням планшетного сканера. Проведена цифрова обробка отриманих зображень. Наведені експериментальні залежності, отримані на реальних зразках деталей.

Ключові слова: рельєф металевої поверхні, оптичне сканування, цифрова обробка зображень, просторова фільтрація.

Вступ. При виробництві деяких типів сонячних батарей виникає необхідність контролювати висоту елементів рельєфу деталей, які виготовляються з плоских тонких металевих листів товщиною 50 мкм. Рельєф поверхні утворюється витисканням рядків виступів висотою від 60 до 150 мкм. З урахуванням технічних умов виробництва було визнано доцільним здійснювати контроль висоти виступів оптичним методом. Він заснований на тому, що за умови розташування джерела і приймача світла під певним кутом відносно одне одного над площиною деталі, на площині приймача утворюється зображення, на якому кожен виступ буде відображатися двома суміжними ділянками – більш світлою і більш темною у порівнянні з яскравістю самого листа (тобто тла зображення). Перша формується за рахунок відбиття світла від тієї сторони виступу, що звернута в сторону джерела світла, а друга – за рахунок тіні, яку відкидає виступ на плоску поверхню деталі.

Таким чином, отримання проекції тривимірного об'єкта, яким є виступ, на площину спостереження однозначно визначається так званою геометрією сцени, а саме, формою і розміром джерела світла, а також взаємним розташуванням у просторі деталі, джерела і приймача світла [1]. Оскільки в даному застосуванні оптичного методу

кольори зображення не несуть корисної інформації, при отриманні зображень їх кольорові компоненти не зберігалися.

Постановка задачі. Головною задачею роботи було виявлення і визначення однозначної функціональної залежності між параметрами зображення виступу і його висотою. Для цього вирішувалися наступні окремі задачі:

- визначення фізико – математичної моделі процесу формування зображень та вибір технічних засобів їх отримання в цифровій формі;
- виготовлення додаткових технічних засобів для надійної фіксації геометрії сцени;
- експериментальне дослідження параметрів зображень, які однозначно пов'язані зі значенням висоти виступів;
- просторова фільтрація зображень, статистична обробка параметрів зображень та отриманих залежностей.

Обґрунтування методики. Для обґрунтування фізико – математичної моделі процесу формування зображень експериментально було визначено, що процес відбиття світла від матеріалу деталі має дифузний характер. Тому за основу була прийнята модель Ламберта [2], за якою інтенсивність I_A розсіяного світла в точці A простору сцени дорівнює $I - k_d \cdot \cos(\alpha_0)$, де I – інтенсивність джерела світла, k_d – коефіцієнт дифузного розсіювання, $0 \leq k_d \leq 1$; α – кут між променем світла і нормаллю до поверхні в точці падіння, $0 \leq \alpha \leq \pi/2$. Таким чином, носієм інформації на зображенні є інтенсивність I_A . Оскільки окремий виступ є трьохвимірним об'єктом, то для отримання зображення на множині точок ділянки певної площі треба переміщувати джерело світла так, щоб при цьому забезпечувався сталий кут між джерелом і приймачем світла. Але якщо використати джерело світла і приймач не точкові, а лінійні, то кожний ряд точок зображення буде формуватися одночасно. Переміщення такої пари вздовж деталі дозволяє сформувати повне зображення всієї деталі або обраних її ділянок. Це ілюструється на рис.1, де для наочності на поверхні $z = f(x,y)$ виступу показані умовні лінії її розрізу площинами $z = f(0,y)$ та $z = f(x,0)$, а також великою стрілкою – напрям переміщення пари "джерело світла – приймач відбитого світла". Теоретичне обґрунтування процесу формування зображення окремого виступу наведено в [3].

Практично таку технологію отримання зображення деталі в лабораторних умовах можна реалізувати на планшетному сканері.

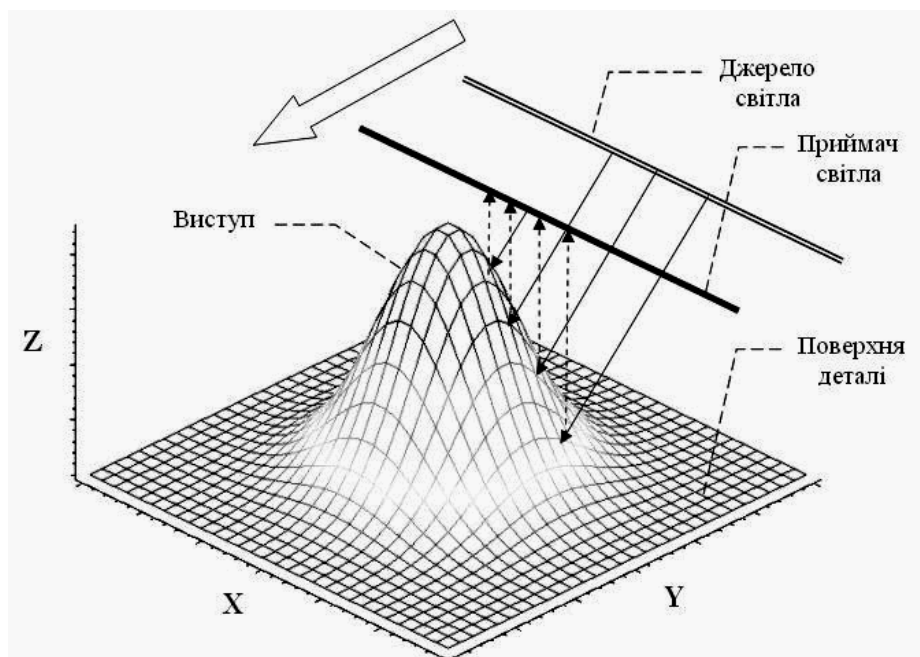


Рисунок 1 – Схема формування зображення виступу на поверхні деталі

Оскільки в планшетних сканерах джерело світла (тонка циліндрична лампа) і приймач світла, який являє собою лінійку фотоелементів – приладів з зарядовим зв'язком (ПЗЗ), розташовані під склом сканера, то деталь фіксувалася на склі виступами донизу, тобто схема на рис.1 фактично була повернута на 180° відносно осі "X". В планшетних сканерах лампа, об'єктив і лінійка ПЗЗ конструктивно розташовані на каретці, яка рухається вздовж координати "Y" в покроковому режимі. Об'єктиви сканерів, які фокусують поточну лінійку променів світла, відбитих деталлю від лампи на лінійку ПЗЗ, мають глибину різкості $\approx 15...20$ мм, що значно більше висоти виступів ($60...150$ мкм). Тому точність отриманого зображення, площина якого паралельна площині "XY", практично не залежить від його тривимірності, тобто від координати "Z".

В роботі використовувався сканер HP Scanjet 3770 з максимальною апаратною роздільною здатністю 1200×2400 dpi. Таким чином, одному пікселю зображення відповідає ділянка розміром $\approx 10 \times 20$ мкм. Зображення зберігалися в форматі BMP або TIFF у градациях сірого глибиною 8 або 16 біт. Для надійної фіксації зразків деталей на склі сканера застосовувався спеціально розроблений три-

мач, який можна було встановлювати на склі під довільними кутами по відношенню до напрямку руху каретки.

На рис. 2,а показано зображення фрагмента деталі, отримане скануванням. На зображенні добре видно оптичний шум. На рис.2,б – ті ж зображення, але після застосування низькочастотної просторової фільтрації (див. нижче). На рис. 2,в,г показаний результат моделювання процесу формування зображення у відповідності зі схемою на рис.1. Для виконання моделювання була розроблено відповідне програмне забезпечення. Зіставлення зображень, представлених на рис. 2.а,б і на рис.2.в підтверджує обґрунтованість обраної моделі відбиття світла та процесу формування двовимірного зображення тривимірного об'єкту, яким є виступ.

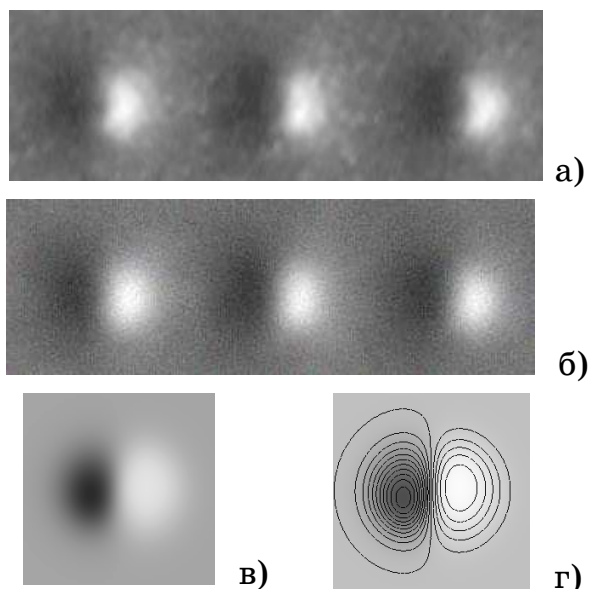


Рисунок 2 – Зображення виступів: а) фрагмент реальної деталі, отриманий скануванням; б) те саме зображення після низькочастотної фільтрації оптичного шуму; в) зображення, отримане програмним моделюванням; г) те саме зображення з лініями рівної інтенсивності

Аналіз результатів досліджень. У дослідженнях значну увагу було приділено вивченню параметрів тіні від виступів. Слід зазначити, що при проведенні досліджень з використанням сканера в якості вимірювального приладу немає можливості отримувати зображення при різних кутах променя світла від джерела (лампи) на площину деталі. Конструкція сканера така, що цей кут сталий і близький до 90° . При такому куті ділянка тіні від виступу має невелику площу (рис.2).

З'ясувалося, що розмір та інтенсивність тіні істотно залежать від кута встановлення тримача деталі на склі сканера. Це пояснюється тим, що витискування близько розташованих виступів призводить до утворення своєрідного "гребеня" за рахунок витягування металу між виступами вздовж їх рядка. В результаті на зображеннях з'являються додаткові тіньові ділянки. Тому дослідження проводилися при різних кутах встановлення тримача в діапазоні $0^{\circ} \dots 90^{\circ}$.

Для отримання масових числових результатів і їх статистичної обробки необхідно обробляти фрагменти зображень поблизу кожного виступу рядка, причому розмір цього фрагменту повинен бути сталим. З метою автоматизації розділення відсканованого зображення рядка виступів на фрагменти було розроблено спеціальну програму. Вона працює наступним чином. По-перше, якщо кут встановлення тримача був відмінний від 0° , то зображення програмним способом повертається на такий саме кут у протилежному напрямі. В результаті рядок виступів на зображенні орієнтується так, як це було б отримано при куті встановлення тримача $= 0^{\circ}$. Далі отримуються числові дані щодо інтенсивності кожного стовпця пікселів зображення вздовж рядка виступів. Потім до отриманих даних застосовується низькочастотна фільтрація і статистична обробка, на підставі чого обчислюється мінімальне порогове значення інтенсивності, яке береться за критерій відокремлення потрібних фрагментів зображення.

В процесі досліджень виявилось, що найбільш суттєвим чинником, який впливає на точність чисельної оцінки висоти виступу є оптичний шум, обумовлений нерівностями і текстурою поверхні деталі. Це ілюструє рис.3, де наведено просторове відображення фрагменту зображення біля одного виступу, отриманого з реального зразку, причому по координаті "Z" відкладені значення інтенсивності відбитого світла. Для наочності співставлення висоти виступу з висотами нерівностей поверхні деталі було умисно обрано виступ найменшої висоти.

З метою зменшення впливу шуму було розроблено методику, засновану на використанні спектрального аналізу, тобто на дослідженні спектрів сигналу і шуму, на підставі якого підбиралися параметри просторового фільтра. Спочатку вивчався шум, обумовлений особливостями поверхні металевого листа. Для цього використовувалися зразки деталей без витиснутих рядків виступів. На зображенні

зразка довільно виділялися фрагменти розміром 128×128 пікселів або 256×256 пікселів.

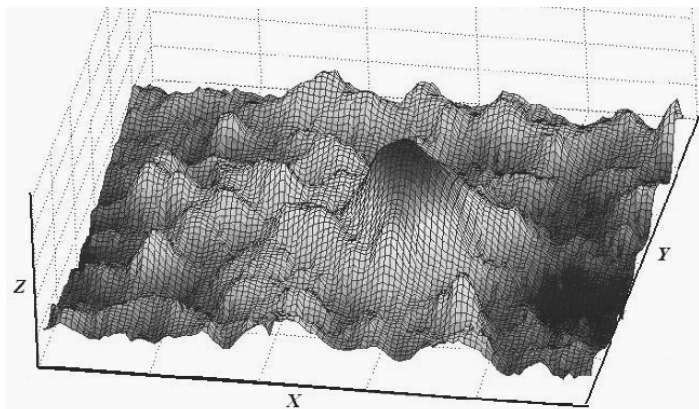


Рисунок 3 – Оптичний шум від нерівностей і текстури поверхні деталі

Для кожного фрагменту обчислювався спектр потужності шуму. Визначався спектр, усереднений по фрагментам. Після цього обчислювалися усереднене просторове зображення виступу і його спектр потужності, тобто спектр усередненого виступу.

Порівняння спектрів в їх центральних частинах, показало, спектр шуму значно ширше спектрів корисного сигналу і його повністю перекриває. Це ускладнює фільтрацію, так як частотні області шуму і сигналу не розділені. Однак, спектр сигналу має суттєво більшу інтенсивність, що є позитивним фактором.

Розглянемо тепер результати, отримані в частині досліджень щодо застосування різних методів просторової фільтрації. Експерименти проводилися з наступними фільтрами.

1. Фільтр типа Вінера. Передавальна функція фільтра в першому наближенні вибиралася як відношення спектра потужності усередненого виступу до усередненого спектру поточного виступу. Незважаючи на перше наближення, були отримані задовільні результати фільтрації.

2. Узгоджена фільтрація. Згідно базової концепції цього виду фільтрації імпульсна функція відгуку фільтра бралася у вигляді усередненого зображення виступів. Отримані в цілому задовільні результати. Недоліком є спотворення форми тривимірного відображення виступу, характерні для даного типу фільтрації.

3. Просторова низькочастотна фільтрація. Смуга пропускання фільтра нижніх частот обмежена двома просторовими частотами за координатами "X" та "Y", які вибиралися на підставі аналізу спектра

шуму. Для фрагменту зображення розміром 128×128 пікселів ці частоти приблизно рівні 3, а для фрагменту розміром 256×256 пікселів – відповідно 6. Результат застосування низькочастотної фільтрації виявився кращим, ніж інші. В наочній формі її дію показано на рис.4, де наведено просторове відображення одного виступу до і після обробки фільтром з ідеальною просторовою АЧХ. По координаті "Z" відкладені значення інтенсивності відбитого світла, яке визначається в термінах яскравості пікселів. На зображеннях, збережених в градаціях сірого при 8-бітному кодуванні значення яскравості становить від 0 (чорний) до 255 (білий). Випробувалися також просторові фільтри нижніх частот Гауса і Баттерворта які виявилися практично такими ж ефективними, як і НЧ - фільтр з ідеальною АЧХ.

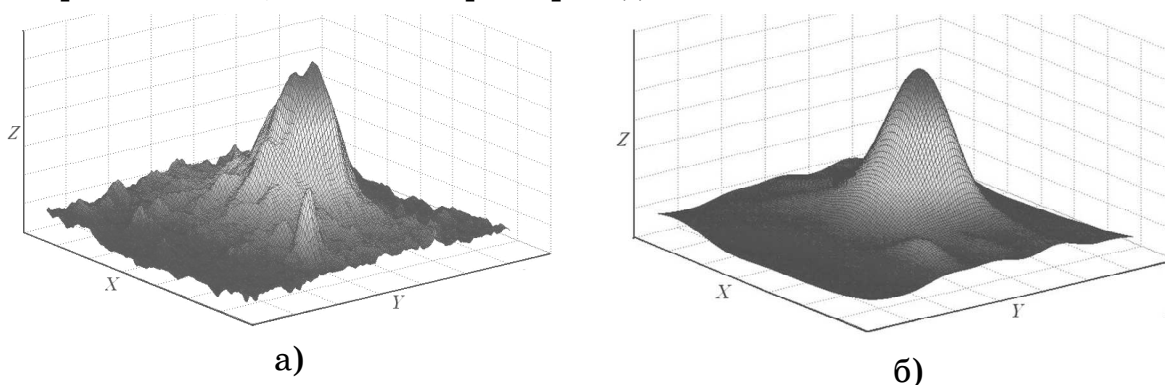


Рисунок 4 – Результат застосування низькочастотної фільтрації:
а) до застосування; б) після застосування

При подальшій обробці зображень перевага була віддана фільтру Баттерворта, так як він давав кращі результати по класифікації зображень і зберігав максимальну інтенсивність відфільтрованого зображення. У ході цього етапу досліджень з метою кількісної оцінки висоти виступів обчислювалися і використовувалися наступні параметри їх зображень:

1. Кількість пікселів з інтенсивністю більше ніж деякий поріг (площа світлої ділянки на схилі виступу внаслідок відбиття падаючого світла).
2. Кількість пікселів з інтенсивністю менше ніж поріг (площа темної ділянки, тобто тіні, яку відкидає виступ на площину деталі).
3. Мінімум інтенсивності світла (глибина тіні від виступу).

4. Максимум інтенсивності відбиття світла від виступу. Для 8 бітового кодування зображення обчислення здійснювалися тільки після фільтрації.

5. Відстань між максимумом і мінімумом (для 8 біт тільки після фільтрації).

Для реалізації даного етапу спочатку використовувався спеціально виготовлені зразки деталей з виступами різної висоти. Витискання виступів робилося спеціальним мікрометричним пристосуванням, яке дозволило витискати виступи різної висоти в діапазоні від 80...50 мкм із кроком 10 мкм. На рис.5 наведено зображення поверхні такої деталі, виступи розташовані в порядку зростання їх висоти (зліва – направо).

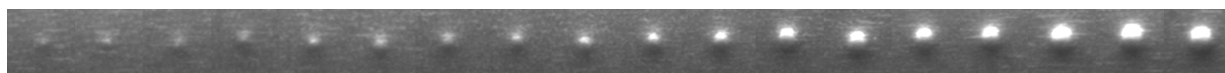


Рисунок 5 – Відскановане зображення поверхні деталі з виступами різної висоти

Експерименти з модельними зразками показали, що найкращім є параметр №3 – мінімум інтенсивності світла I , тобто глибина тіні від виступу висотою h мкм. Сканування виконувалося під різними кутами розташування деталі відносно напрямку руху каретки сканера. В табл. 1 наведена вибірка з отриманих результатів.

Таблиця 1

Залежність мінімуму інтенсивності світла I від висоти виступу h

Кут сканування	Залежність $I = f(h)$	Коефіцієнт кореляції	Фільтрація
90°	$I = -0.1126 h + 50.396$	0.9260	–
90°	$I = -0.1131 h + 50.396$	0.9293	НЧ, частота зрізу = 3
55°	$I = -0.0762 h + 32.583$	0.9094	–
55°	$I = -0.0860 h + 39.240$	0.9280	НЧ, частота зрізу = 3
0°	$I = -0.0734 h + 33.540$	0.8829	–
0°	$I = -0.1019 h + 40.045$	0.9324	НЧ, частота зрізу = 3

Таким чином доведено, що залежність $I(h)$ має лінійний характер. Тут величина I приймає цілочислові значення з діапазону 0...255 при 8-бітному кодуванні глибини сірого, або 0...65535 при 16-бітному кодуванні; h – в мкм. Табл.1 також характеризує вплив фільтрації на достовірність лінійного наближення $I(h)$ при деяких кутах встановлення деталі при скануванні.

Рішення щодо вибору мінімуму інтенсивності в якості інформативного параметру було перевірено на реальних групах зразків деталей. Слід зауважити, що для зразків реальних деталей формування зображення при скануванні складніша, ніж у випадку штучно виготовлених тестових зразків. Це обумовлено тим, що виступи в рядках на реальних деталях розміщуються на відстані, значно меншій ніж та, яка має місце на штучних (рис.5). Внаслідок витягування металу між виступами на поверхні деталі утворюється не рядок окремих виступів, а своєрідний гребінь виступів з певною середньою сумарною висотою. Так, у нашому розпорядженні були 3 групи зразків: 63, 113 та 134 мкм. Однак, як показала статистична обробка зображень, використання критерію мінімуму інтенсивності дозволяє розрізняти такі деталі. Наведемо числові дані.

У разі зразків деталей груп 113 і 134 мкм виявлена чітка границя в 38 одиниць інтенсивності, тобто, значення мінімальної інтенсивності для деталей групи в 113 мкм лежать вище цієї межі, а значення мінімальної інтенсивності для деталей групи в 138 мкм – нижче цієї границі.

У разі ж зразків деталей груп 63 і 113 мкм мінімуми інтенсивності зображень для групи 113 мкм лежать в діапазоні одиниць інтенсивностей від 29 до 47, а мінімуми інтенсивності зображень деталей групи 63 мкм лежать в діапазоні від 59 до 84. Тобто, ці діапазони взагалі не перетинаються.

Висновки. Головним результатом досліджень є обґрунтування можливості реалізації контролю висоти виступів рельєфу поверхні деталей сонячних батарей з використанням планшетного сканера і з подальшою цифровою обробкою їх відсканованих зображень.

Проведено програмне дослідження процесу формування зображення поверхні деталі при використанні сканера, для чого розроблено відповідне програмне забезпечення.

Співставлення зображень, які формуються програмним способом на підставі моделі Ламберта з зображеннями, отриманими з використанням сканера, показали, що відбиття світла від поверхні окремого виступу є дифузним.

Експериментальні дослідження дозволили визначити інформативний параметр зображень, який дозволяє зв'язати його з контрольованим параметром – висотою окремого виступу. Таким параметром є мінімум інтенсивності (яскравості) зображення на ділянці тіні, відкинутої виступом на площину деталі.

Встановлено, що мінімум інтенсивності монотонно убыває при збільшенні висоти окремого виступу.

Для підвищення надійності точності результатів оцінки висоти виступів ефективним засобом є просторова цифрова фільтрація зображень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Эйнджел Э. Интерактивная машинная графика. [Текст] / Э. Эйнджел – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 592 с.
2. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. [Текст] / Н. Голованов – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. — 472 с.
3. Хандецкий В.С., Сівцов Д.П. Застосування цифрової обробки зображень для контролю рельєфу металевих поверхонь деталей сонячних батарей \ \ Інформаційні технології в управлінні складними системами. Тези доповідей. Наукова конференція. – 19-20 червня 2013 р., Дніпропетровськ.

Н.И. Твердоступ

ГЕНЕРАТОР ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СХЕМЫ

Аннотация. Определены условия реализации низкочастотного (0,5-10 кГц) гармонического автогенератора с плавной перестройкой частоты на основе комбинированной операционной схемы, которая обеспечивает существование гармонических колебаний с одновременным умножением индуктивного импеданса резонансного контура, что позволяет использовать катушки с малыми индуктивностью, массой и габаритами.

Ключевые слова: гармонический генератор, операционная схема, комбинированная обратная связь, умножитель, импеданс, индуктивность, частота.

Актуальность. Создание низкочастотных гармонических генераторов ограничивается массогабаритными показателями катушки индуктивности, входящей в состав резонансного контура. Известно, что уменьшение рабочей частоты требует увеличения собственной индуктивности контура, а это приводит к росту габаритов и массы катушки. Актуальным для построения низкочастотных генераторов является создание устройств, позволяющих увеличить индуктивность катушки без увеличения ее массогабаритных показателей.

Анализ исследований. В работах [1, 2, 3] приведены схемотехнические решения умножителей импеданса, в которых увеличение индуктивности сопровождается пропорциональным увеличением ее активного сопротивления, что вызывает снижение добротности. В [4] показана реализация высокодобротного умножителя индуктивности на основе линейной комбинированной операционной схемы (ЛКОС).

Постановка задачи. Целью настоящей работы является создание низкочастотного гармонического генератора с использованием умножителя импеданса катушки, имеющей небольшую собственную индуктивность.

Основная часть. В [5] показано, что ЛКОС обладает свойством масштабирования импеданса. Это позволяет на ее основе создавать

умножители импеданса с заданными параметрами. Примером такого умножителя является схема ЛКОС (рис. 1) с индуктивным импедансом $\dot{Z}_1$ в цепи отрицательной обратной связи. Для этой схемы характерным является наличие комбинированной обратной связи, образованной сопротивлениями R_2 и Z_1 (отрицательная обратная связь) и R_3 , R_4 (положительная обратная связь). Особенностью схемы также является то, что внешние сигналы возбуждения U_1 и U_2 поступают синфазно на оба входа операционного усилителя DA2.

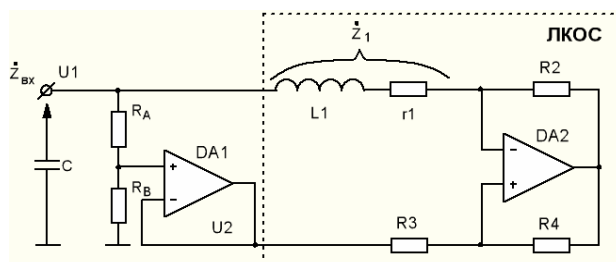


Рисунок 1 – Линейная комбинированная операционная схема как умножитель индуктивного импеданса $\dot{Z}_1$

Из выводов к работе [5] следует, что входной импеданс такой схемы равен

$$\dot{Z}_{ex} = \frac{\dot{Z}_1 - \frac{R_2 R_3}{R_4}}{1 - n}, \quad (1)$$

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

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

$$n = \frac{R_B}{R_A + R_B}, \quad (2)$$

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

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

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

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

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

$$r_{ex} = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) \left(r_1 - \frac{R_2 R_3}{R_4}\right), \quad (5)$$

$$L_{ex} = \left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) L_1, \quad (6)$$

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

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

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

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

Очевидно, что при $|R_{(-)}| \rightarrow r_1$ входное сопротивление $r_{ex} \rightarrow 0$.

Таким образом, рассмотренная схема позволяет увеличить значение индуктивности в m раз с одновременным уменьшением ее активного сопротивления r_1 . Это дает возможность реализовать высокодобротную индуктивность большой величины на основе катушки с малой собственной индуктивностью.

Для построения гармонического генератора ко входу ЛКОС следует подключить емкость C (рис.1), которая совместно со входной индуктивностью L_{ex} образует последовательный колебательный кон-

тур; очевидно, что резонансная частота такого контура будет определяться с учетом умноженной, согласно (6), индуктивности L_1 :

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) L_1 C}}. \quad (9)$$

Гармонические колебания в схеме возникают при выполнении известных условий для автоколебательных систем с внутренней положительной обратной связью [6], которые для рассматриваемой схемы генератора на основе ЛКОС имеют следующий вид:

$$r_1 < \frac{R_2 R_3}{R_4}, \quad (10)$$

$$\left(1 + \frac{R_B}{R_A}\right) \frac{R_2 R_3}{R_4} < \frac{L_1}{C r_1}. \quad (11)$$

Здесь выполнение условия (10) гарантирует наличие в колебательном контуре отрицательного активного сопротивления, приводящего к неустойчивости схемы по постоянному току; выражение (11) является условием возникновения в схеме гармонических колебаний; при стационарной амплитуде колебаний неравенство (11) становится равенством.

Особенностью схемы генератора является то, что ЛКОС наряду с обеспечением выполнения условий существования стационарных колебаний также производит умножение импеданса индуктивной ветви колебательного контура. В отличие от известных схем гармонических генераторов в автогенераторе на основе ЛКОС плавное изменение частоты колебаний можно реализовать без изменения значений индуктивности L_1 и емкости C . Из (9) следует, что регулировку частоты можно производить величиной коэффициента умножения m , изменяя соотношение между величинами сопротивлений R_A и R_B .

Для проведения исследований генератор по схеме на рис.1 был собран на операционном усилителе МСР602. На рис.2 представлены экспериментальные зависимости частоты f гармонических колебаний от коэффициента умножения m для трех значений индуктивности L_1 колебательного контура (0,22; 0,732; 2,01 мГн) при емкости контура $C = 1$ мкФ. Значение коэффициента умножения m изменяли в пределах от 1 до 360 путем выбора соотношений между сопротивлениями R_A и R_B согласно (7). Из зависимостей видно, что увеличение m позволяет уменьшить частоту колебаний примерно в 19 раз при неизменной ин-

дуктивности L_1 катушки сравнительно малой величины. В рассматриваемой схеме генератора для получения частоты колебаний 560 Гц потребовалась катушка с индуктивностью величиной 0,22 мГн вместо необходимой, согласно расчету, 79 мГн (при отсутствии умножения индуктивности). При замене резисторов R_A и R_B на потенциометр в схеме реализуется возможность плавной перестройки частоты в диапазоне 0,5 – 10 кГц.

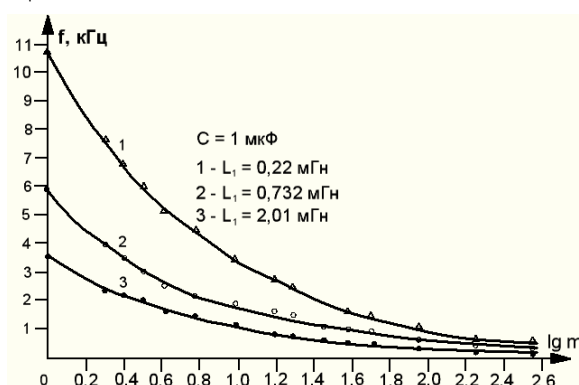


Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости частоты колебаний f автогенератора от коэффициента умножения m для разных индуктивностей L_1

Вывод. Использование линейной комбинированной операционной схемы целесообразно для реализации низкочастотных перестраиваемых гармонических автогенераторов, в которых необходимо использовать катушки с малой индуктивностью и небольшими массой и габаритами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марше Ж. Операционные усилители и их применение. / Ж. Марше— Л.: Энергия, 1974. — 216 с.
2. А.с. 813696 СССР. Индуктивный двухполюсник / А.Ф. Гришков, А.Н. Гуляев, И.Г.Дорох, А.В. Маргелов. — Бюл. №10, 1981.
3. А.с. 836784 СССР. Преобразователь сопротивления / С.А. Новосельцева, М.З. Чаповский. Бюл. №21, 1981.
4. Твердоступ Н.И. Высокодобротный умножитель индуктивности / Н.И. Твердоступ// Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Випуск 1 (78). — Дніпропетровськ, 2012. — С. 100 — 105.
5. Твердоступ Н.И. Обобщенная модель преобразователей импеданса / Н.И. Твердоступ // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. — 2010. — вип.17, №2. — С.103 — 108.
6. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. / В.С. Андреев — М.: Радио и связь, 1982. — 280 с.

СПЕКТРАЛЬНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ МОДУЛЯЦІЙНИХ ІМПУЛЬСІВ РІЗНИХ АМПЛІТУД В ДЕФЕКТОСКОПІЇ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Досліджено розрізняваність сигналів поверхневих тріщин композитних матеріалів різних амплітуд і сигналів відводу/перекосу вихорострумове-го датчика фіксованої амплітуди. Виявлено зміну знака різниці між іде-нтифікаційними параметрами цих сигналів при зміні співвідношення між їх амплітудами, що ускладнює їх ідентифікацію.

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

Постановка проблеми. Композиційні матеріали з вуглецевими армуючими волокнами знайшли широке застосування в багатьох га-лузях сучасного виробництва завдяки їх унікальним фізико-механічним властивостям. Та саме ці властивості обмежують вибір фізичних методів їх неруйнівного контролю і найперспективнішою в цьому плані є вихорострумова дефектоскопія. Сигнали дефектоскопії, що формуються при скануванні виробів з композитних матеріалів, зазнають впливу значних випадкових компонент, обумовлених знач-ною шорсткістю поверхні таких матеріалів, обумовленою технологією їх виробництва. В умовах наявності заважаючого фактору відво-ду/перекосу вихорострумове датчика на фоні високоінтенсивного шуму, обумовленого геометрією поверхні композитів, задача своєчас-ного виявлення поверхневих дефектів різних геометричних розмірів стає більш складною.

Метою даної роботи є дослідження розрізняваності сигналів поверхневих тріщин різної амплітуди та сигналів відводу/перекосу датчика вихорострумове перетворювача на фоні значного шуму, обумовленого шорсткістю поверхні композитних матеріалів.

Аналіз останніх публікацій. Ґрунтуючись на результатах до-сліджень сигналу відхилення накладного вихорострумове датчика від нормалі до поверхні композитного матеріалу [4] і моделі модуля-

ційного сигналу поверхневої тріщини [5], проводиться 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 вихорострумового датчика відносно поверхні композита. В якості параметру ідентифікації використовувалась відносна частка суми амплітуд спектральних компонент, які належать визначеному діапазону, до суми всіх спектральних компонент, що є значущими для даного типу дефекту [3]. Спектральні компоненти розраховувались за допомогою дискретного перетворення Фур'є.

Ця робота є подальшим розвитком роботи [3], в якій запропоновано використання спектру сигналів (1) і (2) для їхньої ідентифікації, тобто поділу сигналів від тріщини і сигналів відводу/перекосу датчика на фоні шуму. В роботі [4] для покращення розрізняваності цих сигналів на фоні значного шуму запропоновано застосування віконної функції Гауса. В даній роботі проводиться дослідження розрізняваності сигналів (1) і (2) за зміни амплітуди сигналу (1) в значних межах із застосуванням віконної функції Гауса при виконанні перетворення Фур'є.

Основна частина. Вихідні дані та алгоритми обробки сигналів в основному були такі ж, як і в роботах [3, 4]. До цього проводилися дослідження, результатом яких була здатність відрізнити сигнал дефекту від сигналу псевдодефекту з однаковими амплітудами при накладанні шуму. У даному випадку необхідно провести дослідження із вирізнення цих сигналів, але вже із різними амплітудами сигналу s_1 .

Амплітуду сигналу відводу/перекосу s_2 було зафіксовано на рівні 1. Амплітуда сигналу від поверхневої тріщини (модуляційного імпульсу) s_1 змінювалась у діапазоні 0,0.1, ..., 2. Параметр k , який відповідає за форму модуляційного імпульсу, брали з ряду дискретних значень 1, 0.9 і 0.8. Тобто досліджувались відносно короткі (в порівнянні з діаметром датчика) тріщини. Кожний експеримент повторювався 10000 разів. Спектр сигналу обчислювався з використанням вікна Гауса. Залежність параметру ідентифікації K_h від амплітуди сигналу s_1 поверхневої тріщини A при фіксованих значеннях шуму

та певній формі модуляційного імпульсу наведено на рис. 1.

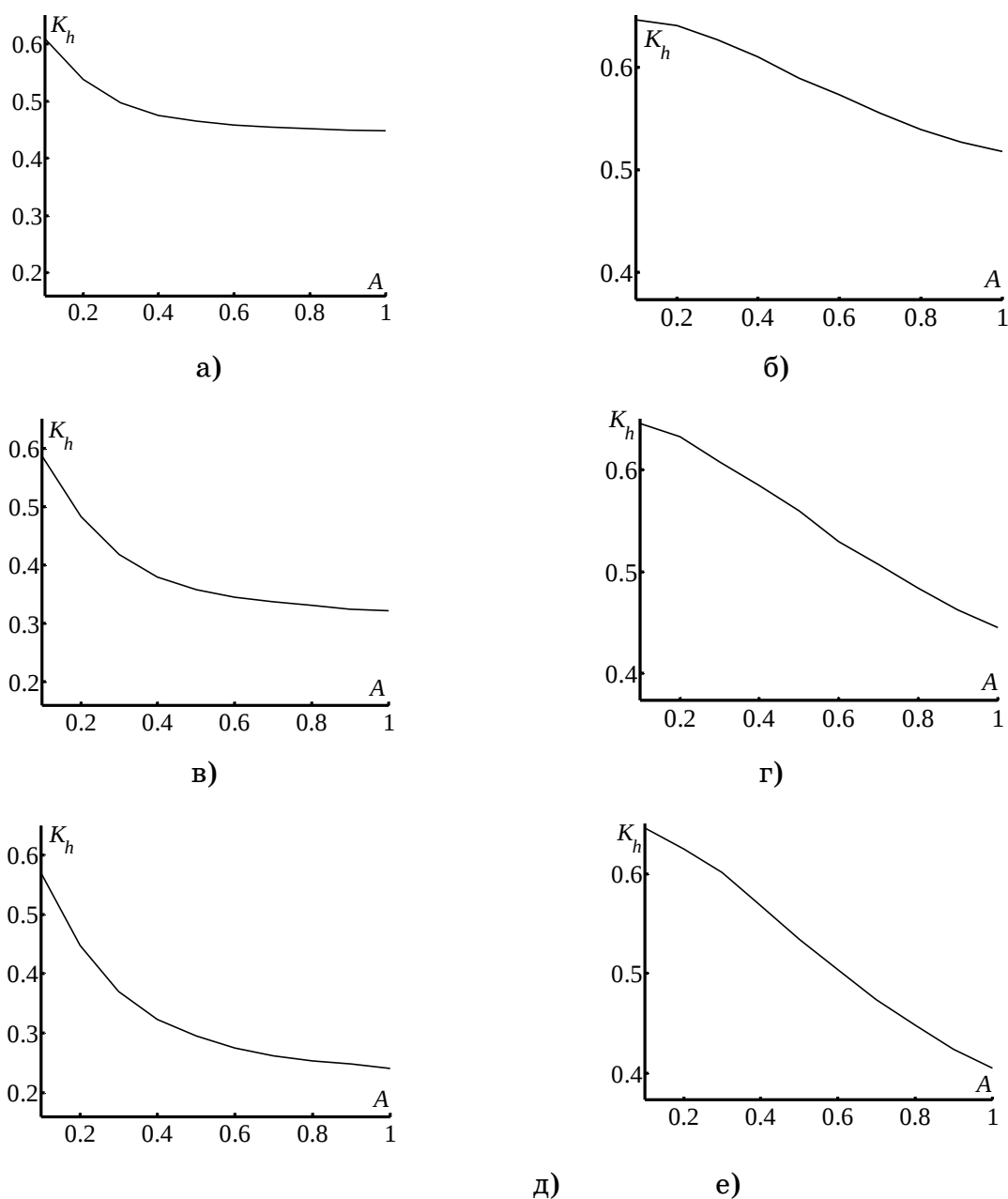


Рисунок 1 – Залежність інформаційного параметру ідентифікації K_h від амплітуди модуляційного імпульсу A : $k = 1$ — а), б); $k = 0.9$ — в), г); $k = 0.8$ — д), е); $\sigma = 0.25$ — а), в), д); $\sigma = 1$ — б), г), е)

Слід зауважити, що максимально можливе значення по осі y на рисунках дорівнює критичному значенню параметру ідентифікації $K_{h_{\text{ли}}} = 0.6475$, що відповідає чистому шуму без будь-якого сигналу [4]. Вісь x на рис. 1 співпадає з лінією, що відповідає параметру ідентифікації K_h для сигналу відводу/перекоосу датчика s_2 .

Зміна форми модуляційного імпульсу має значний вплив на розрізняюваність сигналів поверхневої тріщини s_1 і відводу/перекосу датчика s_2 . Зі зменшенням параметру k (зі зменшенням провалу між боковими максимумами) параметр ідентифікації K_h для сигналу s_1 починає наближатись до відповідного параметру для сигналу s_2 . В свою чергу параметр ідентифікації K_h для сигналу s_2 зі збільшенням потужності шуму починає збільшуватись (наближатись до критичного значення) значно швидше, ніж відповідний параметр для сигналу s_1 . Так, наприклад, при $k = 0.8$ збільшення стандартного відхилення шуму з $\sigma = 0.25$ до $\sigma = 1$ для сигналу s_1 з амплітудою $A = 2$ приводить до незначного збільшення відповідного параметру ідентифікації K_h з 0.2263 до 0.2935. А для сигналу s_2 таке збільшення шуму приводить до збільшення відповідного параметру ідентифікації K_h з 0.16 до 0.3729. А тому спостерігається дещо парадоксальне явище — збільшення амплітуди сигналу поверхневої тріщини s_1 при фіксованій амплітуді сигналу відводу/перекосу датчика s_2 при значному шумі погіршує розрізняюваність цих сигналів.

На рис. 2 представлено результати дослідження залежності параметру ідентифікації K_h від стандартного відхилення шуму σ при фіксованих значеннях амплітуди модуляційного імпульсу A при різних значеннях форми цього імпульсу (параметр k).

З наведених рисунків видно, що при відношенні амплітуди сигналу s_1 до амплітуди сигналу s_2 на рівні 0.5 збільшення потужності шуму мало впливає на розрізняюваність цих сигналів. З цих же рисунків видно, що зі збільшенням амплітуди сигналу s_1 зменшується залежність параметру ідентифікації K_h цього сигналу від стандартного відхилення шуму — чим більша амплітуда сигналу, тим менше залежність. Для сигналу s_2 , амплітуда якого зафіксована, спостерігається майже лінійна залежність відповідного параметру ідентифікації K_h від стандартного відхилення шуму σ .

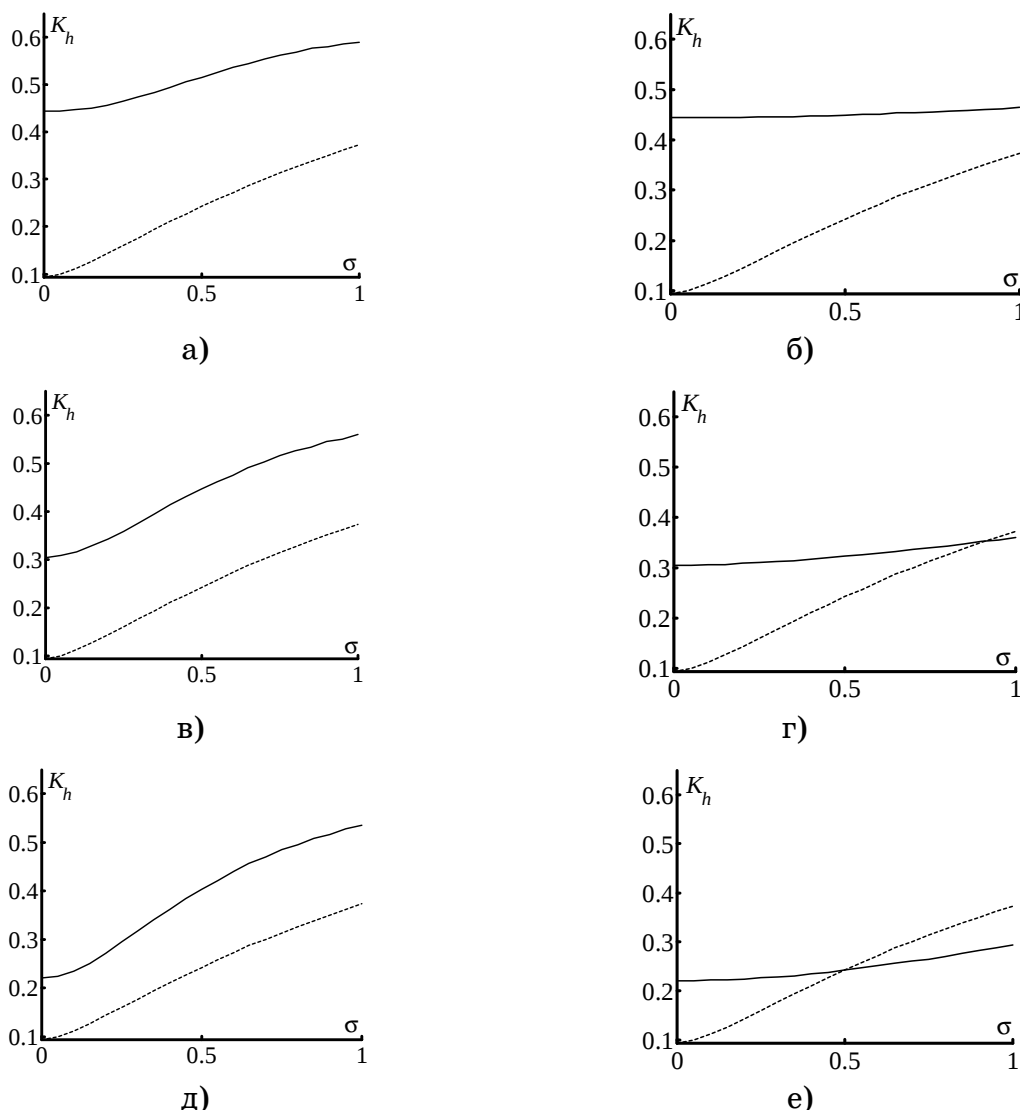


Рисунок 2 – Залежність інформаційного параметру ідентифікації K_h від стандартного відхилення шуму σ : $k = 1$ – а), б); $k = 0.9$ – в), г); $k = 0.8$ – д), е); $A = 0.5$ – а), в), д); $A = 2$ – б), г), е);

— рівень сигналу s_1 ; - - рівень сигналу s_2

Висновки. Було досліджено розрізняваність сигналів поверхневих дефектів s_1 та сигналів відводу/перекоосу датчика s_2 від поверхні композитного матеріалу на фоні шуму, обумовленого шорсткістю цієї поверхні. В результаті проведених досліджень виявлено, що на фоні значного шуму збільшення амплітуди сигналу s_1 не завжди покращує розрізняваність цього сигналу від сигналу s_2 . Пояснюється це тим, що ідентифікаційний параметр чистого шуму K_{hu} (критичне значення) за своїм значенням більше відповідних ідентифікаційних параметрів для сигналів s_1 та s_2 . Причому ідентифікаційний параметр для останнього сигналу має найменше значення. Зі збільшенням рівня шуму ідентифікаційні параметри для обох типів сигналів почина-

ють наближатись до критичного значення, тобто починають збільшуватись їхні значення. Якщо співвідношення амплітуд цих сигналів не змінюється, то не змінюється і їх співвідношення – найбільше значення має ідентифікаційний параметр чистого шуму, потім сигналу поверхневої тріщини s_1 і сигналу відводу/перекоосу датчика s_2 . Якщо амплітуда сигналу s_1 стає більшою амплітуди сигналу s_2 — відповідні ідентифікаційні параметри міняють своє співвідношення, що ускладнює їх ідентифікацію. Так, наприклад, залежність параметру ідентифікації K_h від стандартного відхилення шуму для сигналу s_2 має приблизно такий же нахил до осі абсцис, як і параметр ідентифікації для поверхневої тріщини, амплітуда сигналу s_1 якого в 2 рази менша за амплітуду вказаного заважаючого сигналу s_2 (для $k = 0.9$). Тобто за таких умов співвідношення між ідентифікаційними параметрами цих сигналів не залежить від рівня шуму. Зі збільшенням амплітуди сигналу s_1 параметр ідентифікації K_h цього сигналу стає все менше залежати від шуму і при амплітуді цього сигналу, вдвічі більшій за амплітуду сигналу s_2 за умови стандартного відхилення шуму $\sigma \approx 1$ ідентифікаційні параметри обох сигналів зрівнюються, тобто розрізнити сигнали стає практично неможливо. При подальшому зростанні амплітуди сигналу s_1 співвідношення між ідентифікаційними параметрами міняється – K_h для сигналу s_1 стає меншим за значенням K_h для сигналу s_2 . Якщо амплітуда сигналу s_1 не перевищує амплітуди сигналу s_2 , то такого явища не спостерігається — співвідношення між відповідними ідентифікаційними параметрами залишається сталим.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов В. В., Герасимова О. Л. Исследование сигнала перекоса вихре-токового датчика // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць: Дніпропетровськ, 2001. – Вип. 5 (16). – С. 39-41.
2. Беда П. И. Исследование сигналов накладного датчика в зависимости от изменения размеров и расположения дефектов типа трещин. // Дефектоскопия. – 1970. – № 1. – С. 62-67.
3. Ханецкий 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.
4. Ханецкий В. С., Герасимов В. В. Вплив віконних функцій на розпізнавання сигналів в дефектоскопії композитних матеріалів // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць: Дніпропетровськ. – 2013. – Вип. 5 (88).

МАТРИЧНЫЙ АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ ПРОСТЫХ ИМПЛИКАНТ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ

Аннотация. В данной работе предложен алгоритм, позволяющий с помощью операций над вектором истинности булевой функции и ее матрицей склеиваемых наборов, получить простые импликанты или имплиценты данной функции.

Ключевые слова: алгоритм, булева функция, минимизация, операция склеивания, импликанта, имплицента, вектор истинности, матрица склеиваемых наборов.

Постановка проблемы. Определенная часть методов минимизации булевых функций (БФ), базируется на нахождении их простых импликант (имплицент), далее ПИ, по следующим законам булевой алгебры склеивания конститuent единицы (нуля)

$$xA \vee \bar{x}A = A, (x \vee B) \wedge (\bar{x} \vee B) = B,$$

где A и B – произвольные конъюнкция и дизъюнкция, соответственно [1].

Затем соответствующая минимальная форма находится с помощью известной задачи о нахождении минимального покрытия [1]. Однако, при нахождении ПИ не учитывается, или учитывается только частично, тот факт, что не все они могут склеиваться.

В данной работе рассматривается матричный алгоритм определения ПИ БФ с учетом фактора их потенциально возможного склеивания. Все дальнейшие рассуждения относятся к дизъюнктивным нормальным формам (ДНФ) и могут быть легко распространены на конъюнктивные нормальные формы (КНФ)

Анализ последних исследований, нерешенные проблемы. Существуют методы полного перебора всех объектов склеивания, например, метод Квайна [1]. В методе Мак-Класки [1] наборы БФ ранжируются в соответствии с числом единиц в них, что не определяет все потенциально склеиваемые наборы. В работе [2] предложена методика нахождения всех наборов, которые могут склеиваться.

Постановка задачи. В данной работе будет предложен алгоритм, позволяющий на основании результатов работы [2], базирующийся на операциях с вектором истинности полностью определенной БФ и матрицей склеиваемых наборов, получить все ПИ БФ.

Основные результаты. Так же, как в работе [2], поставим в соответствие булевой функции n переменных двоичную матрицу склеиваемых наборов S , в которой $s_{ij}=1$, если i -й набор склеивается с j -м набором и $s_{ij}=0$, в противном случае, ($i, j=0, \dots, 2^{n-1}$).

Приведем матрицы S для БФ 1, 2, и 3 переменных.

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Обозначив первую матрицу (для БФ одной переменной) через $S^{(1)}$, можно легко видеть, что матрицы $S^{(2)}$ и $S^{(3)}$ для БФ двух и трех переменных, соответственно, могут быть образованы следующим образом:

$$S^{(2)} = \begin{bmatrix} S^{(1)} & I^{(1)} \\ I^{(1)} & S^{(1)} \end{bmatrix} \quad S^{(3)} = \begin{bmatrix} S^{(2)} & I^{(2)} \\ I^{(2)} & S^{(2)} \end{bmatrix},$$

где $I^{(1)}$ и $I^{(2)}$ – единичные матрицы соответствующих размерностей.

Следовательно, в общем случае, для БФ n переменных, имеем следующее:

$$S^{(n)} = \begin{bmatrix} S^{(n-1)} & I^{(n-1)} \\ I^{(n-1)} & S^{(n-1)} \end{bmatrix}.$$

Следуя [2], для БФ n переменных введем также в рассмотрение двоичный вектор истинности $F^{(n)}$, i -я компонента которого равна ее значению (0 или 1) на i -м наборе ($i=0, \dots, 2^{n-1}$).

Выполним операцию покомпонентного умножения данного вектора на матрицу $S^{(n)}$. В результате получим матрицу $P^{(n)}$ размерности $n \times n$. Легко видеть, что j -й элемент i -й строки матрицы $P^{(n)}$, если он равен единице, указывает на j -е наборы БФ, с которыми склеивается данный i -й набор ($i, j = 0, \dots, 2^{n-1}$). При этом, если i -я компонента век-

тора $F^{(n)}$ равна нулю, необходимо обнулить и i -ю строку матрицы $P^{(n)}$. Напомним, что приведенные рассуждения применимы к ДНФ. При работе с КНФ вектор истинности $F^{(n)}$ необходимо проинвертировать.

Далее опишем процедуру нахождения ПИ.

Вместе с i -м номером каждой строки (в двоичном представлении) матрицы $P^{(n)}$ анализируются все остальные наборы этой строки, равные единице (также представленные в двоичной системе счисления). При этом, для двух таких рассматриваемых наборов $X=\{x_0, \dots, x_k\}$ и $Y=\{y_0, \dots, y_k\}$, результатом является набор $Z=\{z_0, \dots, z_k\}$, где $z_i=x_i$, если $x_i=y_i$, иначе $z_i=2$. Элементы вектора Z , равные 1, обозначают переменные, входящие в импликанты (имплиценты) в прямом (инверсном) виде, нулевые элементы – переменные, входящие в инверсном (прямом) виде, элементы, равные 2, – переменные, которые склеились и в импликанты (имплиценты) не входят.

Все дальнейшие склеивания производятся над импликантами (имплицентами), которые имеют одинаковые элементы, равные 2, по следующим правилам: $z_i=x_i$, если $x_i=y_i$, $z_i=2$, если $x_i \neq y_i$, для случая, когда x_i и y_i равны нулю либо единице и $z_i=x_i$, если $x_i=y_i=2$. В результате выполнения всех возможных склеиваний получим все ПИ БФ.

Пример. Пусть имеется следующий вектор истинности БФ трех переменных: $F^{(3)}=[0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1]$.

В результате умножения данного вектора на матрицу $S^{(3)}$ получим следующую матрицу $P^{(3)}$:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

По результатам склеивания имеем:

X	0 1 0	1 0 1	1 1 0	1 1 1
Y	1 1 0	1 1 1	0 1 0	1 0 1
			1 1 1	1 1 1
Z	2 1 0	1 2 1	2 1 0	1 2 1
			1 1 2	1 1 2

Таким образом, в результате применения предложенного алгоритма, получены следующие ПИ: $\overline{2\ 1\ 0}$, $1\ 2\ 1$, $1\ 1\ 2$, или, в символьной нотации, $\overline{x_2 x_3}$, $x_1 x_3$, $x_1 x_2$.

С целью подтверждения справедливости полученных результатов, рассмотрим карту Карно [1] данной функции (рис. 1), из которой видно, что полученные ранее ПИ – такие же.

	x_1			
x_3	1	1	0	0
	0	1	1	0
	x_2			

Рисунок 1 – Карта Карно

Выводы. В данной работе предложен матричный алгоритм нахождения простых импликант или имплицент полностью определенных булевых функций, основанный на обработке только потенциально склеиваемых наборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дискретная математика и математические вопросы кибернетики / Ю.Л. Васильев, Ф.Я. Ветухновский, В.В. Глаголев и др.; Под общ.ред. С.В. Яблонского, О.Б. Лупанова. – М.: Наука, 1974. – Т. 1. – 312 С.
2. Рыбка Ю. М. Оптимизация при минимизации булевых функций // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 6 (35) – Днепропетровск, 2004. – С 18-23.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ В ДЕФЕКТОСКОПИИ

Аннотация. Представлены результаты исследования использования различных видов искусственных нейронных сетей для решения задач классификации сигналов в дефектоскопии.

Ключевые слова: вероятностные нейронные сети, сети Кохонена, LVQ-сети, дефект, классификация.

Введение. Одним из приоритетных направлений развития авиационной и космической техники на протяжении последних десятилетий является повышение уровня контроля пригодности изделий. Это в свою очередь связано с резким увеличением обрабатываемой информации, что значительно усложняет алгоритмы ее обработки, требует высокой квалификации эксперта, увеличивает время, необходимое на анализ информации и повышает вероятность ошибки.

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].

Целью данной работы является сравнительный анализ и оценка возможностей использования для решения задач классификации зашумленных сигналов различных видов нейронных сетей, в том числе вероятностной нейронной сети, нейронной карты Кохонена и LVQ-сети.

Основные положения. В авиационной и космической промышленности изделия изготавливаются с использованием композитных

материалов. При проведении неразрушающего контроля таких материалов получают сигналы различной формы. Форма сигнала дает представление о характере дефекта. При этом следует учитывать сложный рельеф поверхности композитных материалов, шероховатость поверхности добавляет шумы различной интенсивности. Это затрудняет распознавание формы сигнала, и, соответственно, вид дефекта.

Для решения задач распознавания формы сигнала и классификации типа дефекта предлагается использовать нейронные сети.

Каждая искусственная нейронная сеть представляет собой множество соединённых определённым образом простых элементов – нейронов. В результате это даёт огромную вычислительную мощность параллельной обработки данных. Конкретный вид выполняемого нейронной сетью преобразования данных обуславливается не только характеристиками входящих в её структуру нейронов, но и особенностями её архитектуры, а именно топологией межнейронных связей, направлением и способами передачи информации между нейронами, а также способами обучения сети [1].

В задаче классификации следует учитывать, что во входном векторе образов можно выделить несколько классов. Нейронная сеть должна отнести каждое наблюдение к одному из классов или, в общем случае, оценить вероятность принадлежности наблюдения к каждому из классов. В ситуации, когда классифицируемый входной сигнал не соответствует ни одному из образцов (например, нарушен случайными помехами), в искусственных нейронных сетях производится процесс распознавания, а позже в результате распознавания – классификация.

Классификацию предлагается осуществлять с помощью таких нейронных сетей: вероятностной нейронной сети, сети Кохонена и LVQ-сети. Рассмотрим более подробно эти нейронные сети.

Вероятностные нейронные сети (PNN – Probabilistic Neural Network). Такие сети представляют собой параллельную реализацию статистических методов Байеса. В PNN образцы классифицируются на основе оценок их близости к соседним образцам. При этом используется ряд критериев статистических методов, на основе которых принимается решение о том, к какому классу отнести еще не классифицированный образец. Формальным правилом при классификации

является то, что класс с более плотным распределением в области неизвестного образца, а также с более высокой априорной вероятностью и с более высокой ценой ошибки классификации, будет иметь преимущество по сравнению с другими классами. Для оценки функции плотности распределения вероятностей используются непараметрические методы оценки. Как правило, применяют метод Парцена, в соответствии с которым для каждого учебного образца рассматривается некоторая весовая функция, которую еще называют функцией потенциала или ядра. Чаще всего в качестве ядерных функций берут упрощенные функции Гаусса:

$$f(X) = e^{-\frac{|X-X_i|^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где X_i – i -й 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:

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

где L_k – объем обучающей выборки k -го класса.

Вероятностная нейронная сеть содержит радиальный базисный и конкурирующий слои. Количество нейронов входа определяется количеством признаков вектора X . Слой образцов содержит по одному нейрону для каждого образца входного вектора из обучающей выборки. При общем объеме обучающей выборки длиной L образцов этот слой должен иметь L нейронов [1].

Предъявление сети каждого из L образцов сопровождается указанием от учителя номера k -го класса, которому принадлежит входящий образец. Последовательность предъявления обучающих образцов может быть любой. После предъявления всех L векторов обучающей выборки, формируется структура сети, и параметры сети определены в виде матрицы. На этом процесс обучения вероятностной нейронной сети завершается и сеть готова к классификации неизвестных образцов. Вероятностные нейронные сети принадлежат к классу нейронных сетей «обучение с учителем».

Самоорганизующиеся карты Т. Кохонена (SOM - self organizing maps). Сети Кохонена принципиально отличаются от остальных. Они обучаются без надзора («обучение без учителя»), при котором обучающие данные содержат только значения входных переменных и не содержат соответствующие им выходные значения.

Стратегия метода построения SOM заключается в представлении множества экспериментальных данных в виде топологической карты, т.е. решетки размерностью $n \times m$, состоящей из нейронов. Каждый нейрон представляет собой вектор, определяющий в d -мерном пространстве признаков некоторую характерную точку. В результате реализации алгоритма обучения векторы-нейроны распределяются в пространстве признаков, аппроксимируя статистические взаимосвязи между данными обучающего множества [1, 2].

В процессе работы алгоритма настраиваются синаптические веса нейронов. Для настройки сети определяется мера соседства нейронов (мера близости). Зоны соседства нейронов уменьшаются с течением времени. В начале обучения весовым коэффициентам сети присваиваются малые случайные значения. Общее число синаптических весов равно $n \times m$. Для всех нейронов вычисляется Евклидово расстояние до входного вектора и выбирается нейрон-победитель с наименьшим расстоянием. Затем производится подстройка весов для нейрона-победителя и всех нейронов из его зоны соседства. Модификации весов рассчитываются по формуле:

$$Wv(s + 1) = Wv(s) + \alpha(u, v, s) \cdot \Theta(u, v, s) \cdot (D(t) - Wv(s)), \quad (3)$$

где $Wv(s)$ – значение весового коэффициента связи входного нейрона и выходного нейрона в момент времени s , u – нейрон-победитель для $D(t)$, $\alpha(s)$ – шаг обучения, уменьшающийся с течением времени и $D(t)$ – входной вектор. Функция соседства $\Theta(u, v, s)$, зависящая от расстояния решетки между нейроном-победителем (нейрон u) и нейроном v . Далее предъявляется новое наблюдение, и процесс повторяется [1].

LVQ-сети. В основе LVQ (Learning Vector Quantization)-сети лежит механизм обучения конкурирующего слоя с использованием метода «обучение с учителем», когда заранее известно, к какому классу принадлежит каждый экземпляр выборки. Они являются развитием самоорганизующихся сетей Кохонена [1, 3].

LVQ-сеть состоит из двух последовательно соединенных слоев нейронов: конкурирующего и линейного. Конкурирующий слой используется для кластеризации векторов. Количество нейронов первого слоя соответствует длине вектора входа. Линейный слой обеспечивает соотнесение кластеров с целевыми классами, заданными пользователем. На каждый кластер во входном слое должен быть задан один нейрон, причём количество классов не должно быть больше количества кластеров.

Конкурирующий слой разделяет входные вектора x на классы, выделяя центры сосредоточения входных векторов m_i . Для этого определяют расстояние $n^1 = \|x - m_i\|$ между входными векторами x и начальными значениями центров сосредоточения векторов m_i , $i=1, 2, \dots, q$ (q – количество входных векторов).

Линейный слой преобразует класс входного вектора, определенный конкурирующим слоем $a1$ в класс определенный пользователем $a2$. Произведение $a1$ на значения весов LW линейных нейронов, которые установлены равными единице, если $a1$ и $a2$ совпадают, и нулем – если не совпадают. Соответствующие произведения $n^2 = a^1 LW$ подаются на выходы всех линейных нейронов, образуя вектор $a2$, все элементы которого равны 0, за исключением элемента, который отвечает классу, определенному пользователем (этот элемент вектора равен 1).

Чтобы сеть начала работать, необходимо провести обучение. Обучение LVQ-сети выполняется по алгоритмам LVQ1 и LVQ2 [3].

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 (дефекты превышают зону контроля) до бимодального с провалом вершины (точечные дефекты) моделируется с помощью выражения [2]:

$$y(x) = (2^n - 1) \cdot \exp(-1,5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2), \quad (4)$$

где $(2^n - 1)$ – это максимальное значение сигнала n -разрядного АЦП.

В результате получаются сигналы различной формы: при $k=0$ ч 0.35 – узкий унимодальный сигнал, описывающий длинную трещину, длина которой превышает зону контроля. При $k=0.35$ ч 0.55 получаем пологий унимодальный сигнал, характерный для трещин меньшей размерности; при $k=0.6$ ч 1 получаем бимодальный сигнал, который характерен для маленьких трещин (при $k=1$ – точечный дефект).

Площадь получаемых модельных сигналов вычисляется путем интегрирования выражения (4) по абсциссе от $-\infty$ до $+\infty$, и является разностью известных [4] площадей под двумя ненормированными гауссовыми кривыми со значениями параметра $\sigma = 1/\sqrt{3}$ и $\sigma' = 1/\sqrt{6}$:

$$Q = (2^n - 1) \sqrt{\frac{2\pi}{3}} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} k\right) \quad (5)$$

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

В случае АЦП с разрядностью $n=8$ площади соответствующих сигналов ВТП изменяются от минимального значения $Q_{\min} = 110.71$ до максимального $Q_{\max} = 369.036$, после чего увеличение размеров дефектов не регистрируется.

Процесс обучения нейронных сетей и классификации дефектов реализовывался в среде Matlab R2010b[3]. Для всех типов нейронных сетей использовалось обучающее множество, состоящее из значений площадей модельных сигналов (5). Проверка качества обучения выполнялась на контрольных значениях площадей зашумленных сигналов.

Для моделирования сигналов с шумом к выражению (5) добавлялись случайные величины, распределенные по нормальному закону со средним значением 0 и среднеквадратичным отклонением от 0 до 0,2 с шагом 0,05 [3]. Для вычисления площади таких сигналов использовалась формула трапеций [4].

В случае использования вероятностной нейронной сети классификация сигналов выполнялась по трем классам: унимодальный, по-

логий унимодальный и бимодальный. Задавалось 10 векторов входа и, каждый из них, соотносился с одним из трех классов.

Самоорганизующаяся сеть Кохонена формировалась в виде одномерного слоя из 3 нейронов, в соответствии с числом классов дефектов. Выполнялось обучение на протяжении 200 итераций. Обученную нейронную сеть использовали для классификации зашумленных сигналов.

При использовании LVQ-сети конкурирующий слой состоял из 3 нейронов по числу кластеров, а линейный слой из 2 нейронов по числу классов, на которые разбивались площади зашумленных сигналов. Кластеры формировались по форме сигналов: унимодальный, пологий унимодальный та бимодальный. Количество выходных классов обусловлено наличием или отсутствием дефектов.

Если при проведении неразрушающего контроля композитного материала получали унимодальный или пологий унимодальный сигнал, то в изделии есть дефект. Бимодальный сигнал указывал на точечный дефект или на неточность измерений.

Проверку нейронных сетей для определения точности выявления дефектов осуществляли путем подачи на вход обученных нейронных сетей зашумленных сигналов. Для каждого значения шума выполнялось 1000 измерений и определились общие относительные ошибки работы:

$$P = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (6)$$

где n – число ошибок распознавания, N – общее количество измерений. Результаты исследования приведены на рис. 1.

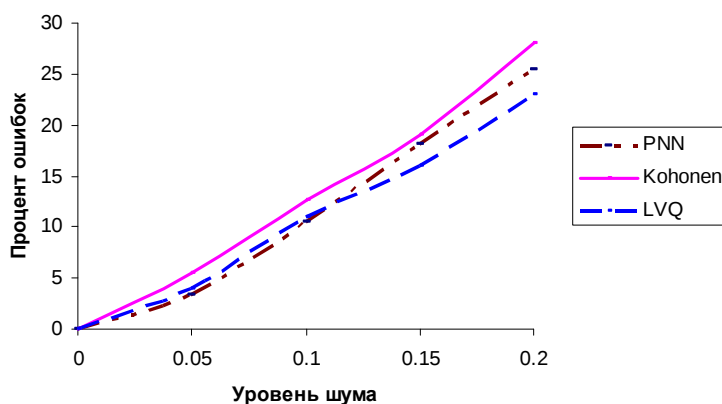


Рисунок 1 – Оценка погрешности работы нейронных сетей

Выводы. Проведенный анализ показал принципиальную возможность применения искусственных нейронных сетей для определения дефектности изделий из композитных материалов. На основании полученных погрешностей работы нейронных сетей для дальнейшей работы целесообразно использовать нейронные сети с более сложной структурой, а исследуемые в работе – использовать для предварительной обработки информации.

ЛИТЕРАТУРА

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

ДЕТЕКТИРУЕМОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Показано, что необходимым и достаточным условием существования устройства, обеспечивающего экспоненциальную оценку неизвестных выходов линейного нестационарного многосвязного объекта управления, является экспоненциальная устойчивость системы однородных линейных нестационарных дифференциальных уравнений, соответствующей правому наибольшему общему делителю операторных матриц объекта управления.

Ключевые слова: линейные нестационарные дифференциальные матричные операторные уравнения, экспоненциальная устойчивость, детектируемость.

Актуальность темы. Широкий класс объектов управления адекватно представляются в виде системы линейных нестационарных дифференциальных уравнений с производными в правой части. Как правило, не все выходы объекта доступны непосредственному наблюдению. Синтез динамических систем, обеспечивающих экспоненциальную оценку неизвестных выходов объекта управления, является классической задачей теории автоматического управления.

Анализ последних исследований. В рамках концепции пространства состояний динамический регулятор системы в основном строится в два этапа [1]. Вначале конструируется динамический асимптотический наблюдатель состояния, дающий экспоненциальную оценку состояния, а затем по этим оценкам известными методами строится управление по принципу полной обратной связи. Естественно, поэтому, внимание специалистов к теории наблюдателей.

Если у системы существует наблюдатель состояния, то она называется детектируемой. Благодаря принципу дуальности [2], можно получить необходимое условие детектируемости нестационарного объекта: ненаблюдаемая часть системы должна быть экспоненциально

устойчива [3] и строить наблюдатель теми же методами, что и регуляторы по состоянию.

В рамках полиномиального подхода задача синтеза наблюдателя состояния переходит в проблему построения устройства, которое на основании измерения входов и части выходов объекта управления формирует такую оценку неизмеряемых выходов, что ошибки оценки будут экспоненциально устойчивы [4]. Получены условия существования таких устройств, основанные на анализе правых наибольших общих делителей линейных нестационарных матричных дифференциальных операторов, описывающих объект. Процедура синтеза основывается на приведении операторной матрицы объекта к канонической форме и выполнении матричного алгоритма деления. Остаётся открытым вопрос об условиях существования наблюдателя, обеспечивающего для ошибки оценки показатели Ляпунова не больше заданного отрицательного числа.

Постановка задачи. Для объекта управления, представленного в виде системы линейных нестационарных дифференциальных уравнений с производными в правой части, получить необходимые и достаточные условия существования наблюдателя неизвестного выхода, обеспечивающего для ошибки оценки показатели Ляпунова не больше заданного отрицательного числа

Обоснование полученных результатов. В пространстве сигналов X , состоящем из бесконечно дифференцируемых, за исключением конечного числа точек, функций, выделим подпространство функций M_α , имеющих вместе со всеми своими производными характеристический показатель Ляпунова [5] меньший отрицательного числа α .

Предположим, что объект автоматического управления вместе с исполнительными органами и измерительными приборами описывается системой линейных нестационарных дифференциальных уравнений

$$Az = Bu, \quad (1)$$

где $A \in R^{k \times k}$, $\text{rank } A = k$, $B \in R^{k \times m}$, $z \in X^k$, $u \in X^m$, R – кольцо линейных нестационарных дифференциальных операторов с коэффициентами из поля функций со строгим нулевым показателем Ляпунова, замкнутого относительно дифференцирования.

В уравнении (1) вектор u включает входы исполнительных устройств и регуляторов. Выходные сигналы z представимы в виде

$z^T = [y^T \ x^T]$. Здесь $y \in X^l$ – внутренние выходы объекта, регуляторов и исполнительных органов, недоступные непосредственному измерению, $x \in X^n$ – выходы измерительных приборов, на основании которых формируются управляющие воздействия.

Перепишем систему (1) в виде

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} u, \quad (2)$$

где $A_1 \in R^{l \times l}$, $A_2 \in R^{l \times n}$, $A_3 \in R^{n \times l}$, $A_4 \in R^{n \times n}$, $B_1 \in R^{l \times m}$, $B_2 \in R^{n \times m}$ и пусть $\text{rank } A_1 = l$.

Рассмотрим задачу оценки неизвестного выхода y системы (2) на основании известных сигналов x и u .

Определение. Система (1) называется α - детектируемой, если существует такое устройство

$$Ky_e = Lx + Eu, \quad (3)$$

где $K \in R^{l \times 1}$, $\text{rank } K = l$, $L \in R^{l \times n}$, $E \in R^{l \times m}$, называемое α - наблюдателем, что ошибка оценки $e = y_e - y$ лежит в M_α^l при любых входах u и всех возможных выходах x и y .

Определим множество S_α^l состоящее из матриц полного ранга из $R^{l \times l}$, таких, что все решения однородной системы линейных нестационарных дифференциальных уравнений $sx = 0$, $s \in S_\alpha^l$ лежат в пространстве функций M_α , имеющих вместе со всеми своими производными характеристический показатель Ляпунова меньший отрицательного числа α .

Теорема. Для α - детектируемости системы (2) необходимо и достаточно, чтобы правый наибольший общий делитель (ПНОД) матриц A_1 и A_4 лежал в S_α^l .

Достаточность. Матрицы в (3) представим в виде $L = -NA_2 - PA_4$, $E = NB_1 + PB_2$ и

$$K = NA_1 + PA_3, \quad (4)$$

для некоторых матриц $N \in R^{l \times l}$, $P \in R^{l \times n}$, которые необходимо найти, решая последнее уравнение. Подставим L и E в (3):

$$Ky_e = N(B_1u - A_2x) + P(B_2u - A_4x).$$

Из уравнения объекта (2) следует, что $B_1u - A_2x = A_1y$ и $B_2u - A_4x = A_3y$. Учитывая (4), получим $Ky_e = Ky$ или

$$Ke = 0^l. \quad (5)$$

Рассмотрим (4) как уравнение относительно неизвестных матриц N и P . Положим в нём матрицу K равной ПНОД матриц A_1 и A_3 . Тогда это уравнение разрешимо. По условию ПНОД лежит в S_α^l . Следовательно, в (5) e лежит в M_α^l .

Необходимость. Согласно работе [6] существует обратимая над R матрица U , такая, что

$$U \begin{bmatrix} A_1 \\ A_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_r \\ 0 \end{bmatrix},$$

где $U, U^{-1} \in R^{l+n \times l+n}$ и $C_r \in R^{l \times l}$ – ПНОД матриц A_1 и A_3 . Умножим систему (2) слева на матрицу U . Решения системы в силу обратимости матрицы не изменятся.

$$\begin{bmatrix} C_r & F \\ 0 & A_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ B_l \end{bmatrix} u, \quad (6)$$

где, с учетом обозначений

$$U = \begin{bmatrix} U_1 & U_2 \\ U_3 & U_4 \end{bmatrix},$$

имеем $F=U_1A_2+U_2A_4$, $G=U_1B_1+U_2B_2$, $A_l=U_3A_2+U_4A_4$, $B_l=U_3B_1+U_4B_2$. Заметим, что тем самым мы привели уравнение (2) к наблюдаемым выходам $A_l x = B_l u$.

Запишем уравнение системы (2), представленное в форме (6), совместно с подключенным к нему α -наблюдателем

$$C_r y + Fx = Gu, A_l x = B_l u, Ky_e = Lx + Eu.$$

Положим, что векторные функции u , x и y_e нулевые. Тогда ошибка оценки $e=y_e-y$ равна $-y$ и является решением уравнения $C_r y=0$. По условию $e \in M_\alpha^l$. Следовательно $C_r \in S_\alpha^l$. Ч.Т.Д.

Выводы. Показано, что необходимым и достаточным условием существования наблюдателя, обеспечивающего экспоненциальную оценку неизмеряемых выходов линейной нестационарной многосвязной системы, является экспоненциальная устойчивость системы однородных линейных нестационарных дифференциальных уравнений, соответствующей правому наибольшему общему делителю операторных матриц объекта управления. Задача синтеза наблюдателя сведена к решению матричного операторного уравнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. М.: Наука. – 1976. – 424 с.
2. Квакернак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. М.: Мир. – 1977. – 656 с.
3. Смирнов Е.Я. Некоторые задачи математической теории управления. Л.: ЛГУ. – 1982. – 200 с.
4. Ylinen R. An algebraic theory for analysis and syntesis of time-varying linear differentials systems // Acta Politechnica Scandinavica: Math. and Comput. Ser. N 32. Helsinki, 1980. 62 p.
5. Теория показателей Ляпунова и её приложение к вопросам устойчивости. / Былов Б.Ф., Виноград Р.Э., Гробман Д.М., Немыцкий В.В. М.: Наука. – 1966. – 576 с.
6. Григорьев В.М. Совместность и эквивалентность линейных нестационарных систем управления // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов: Днепропетровск, 2004. – Выпуск 6 (35). – С. 24-32.

В.В. Крохин, Н.О. Кузьменко

УСКОРЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МАТЛАБ ПУТЕМ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ

Аннотация. Реализация параллельных вычислений в настоящее время доступна как при наличии многоядерных центральных процессоров, так и графических процессоров. В статье анализируется возможность ускорения вычислений в МАТЛАБ за счет распараллеливания. Рассмотрено применение надстройки Parallel Computing Toolbox (PCT) фирмы MathWorks, а также применение Jacket – программного продукта фирмы AccelerEyes, который позволяет производить математические расчеты в среде MATLAB с использованием ресурсов современных видеокарт от NVIDIA.

Ключевые слова: Параллельные вычисления, многоядерный процессор, графический процессор, программный продукт, имитационное моделирование, ускорение вычислений.

Введение. При проведении исследований с помощью имитационного моделирования часто приходится выполнять расчеты, которые содержат одни и те же вычисления, но с различными данными. Такого рода вычисления, например, требуются при вычислении статистик на основе множества реализаций. При этом если все реализации являются доступными для обработки одновременно, то существенное ускорение вычислений может быть достигнуто за счет распараллеливания. Многие современные компьютеры, даже персональные, имеют центральные процессоры (CPU) с несколькими ядрами, что принципиально обеспечивает возможность применения распараллеливания вычислений. В то же время, всё чаще в архитектуру компьютера включаются графические процессоры (GPU). Такие процессоры являются многоядерными по своей природе.

Следовательно, существует несколько возможностей ускорения вычислений за счет распараллеливания.

Основная часть. В данной статье рассматривается применение распараллеливания вычислений осуществляемых с помощью

МАТЛАБ. За счет распараллеливания можно существенно уменьшить время, затрачиваемое на численные эксперименты, в которых многократно повторяются одни и те же вычисления, но с различными исходными данными.

Для ускорения вычислений нами использовались следующие подходы:

- распараллеливание вычислений на многоядерном CPU;
- параллельные вычисления с использованием GPU.

Для выполнения распараллеливания с использованием GPU применялись два инструмента:

- Parallel Computing Toolbox (PCT) фирмы MathWorks;
- Jacket фирмы AccelerEyes.

Распараллеливание с использованием многоядерного CPU. В последних версиях МАТЛАБ предусмотрена возможность применения распараллеливания вычислений с помощью встроенного механизма Parallel Computing Toolbox (PCT) [1]. PCT позволяет решать вычислительные задачи с большими объемами данных, используя многоядерные процессоры. PCT содержит до двенадцати потоков (worker), которые запускают программы локально на многоядерной вычислительной машине. Таким образом, без изменения кода можно запускать параллельные вычисления в интерактивном или пакетном режиме (с использованием MATLAB Distributed Computing Server).

Распараллеливание с использованием GPU. В отличие от традиционных процессоров, которые включают в себя не более чем несколько ядер, графический процессор имеет сотни ядер. Однако использование GPU для распараллеливания вычислений связано с определенными затратами. Данные должны быть отправлены с центрального процессора на графический процессор для вычислений, а затем извлекаются из него. Поскольку графический процессор присоединяется к центральному процессору посредством шины PCI Express, доступ к памяти происходит медленнее, чем у традиционного CPU. Это означает, что общее ускорение вычислений ограничивается количеством передач данных между CPU и GPU, которое нужно осуществлять в соответствии с используемым алгоритмом обработки данных. Поэтому необходимо тратить время на тонкую настройку кода для GPU с целью оптимизации программ для достижения максимальной производительности. Такая настройка для графических про-

цессоров NVIDIA осуществляется с помощью программно-аппаратной архитектуры CUDA (Compute Unified Device Architecture)[2]. CUDA позволяет производить вычисления с использованием графических процессоров NVIDIA, поддерживающих технологию GPGPU (произвольных вычислений на видеокартах). CUDA дает разработчику возможность по своему усмотрению организовывать доступ к набору инструкций графического ускорителя и управлять его памятью, организовывать на нем сложные параллельные вычисления. Интегрирование CUDA с МАТЛАБ обеспечивается с помощью специально разработанного фирмой Acceleereyes программного продукта под названием Jacket [2]. Jacket – это CUDA плагин, который позволяет производить математические расчеты в среде МАТЛАБ с использованием ресурсов современных видеокарт от NVIDIA. Это настоящий ускоритель расчетов, который перегружает основные процедуры МАТЛАБ, предоставляя полную прозрачность выполнения кода на GPU. Изменения, которые нужно вносить в код программы, минимальны (например, `plot -> gplot`, `surf -> gsurf`). Синтаксис многих функций вообще остается без изменений (`sin`, `cos` и т.д.).

Характеристики использованных аппаратных и программных средств.

Оборудование:

- Процессор - IntelCore i7, 2.00 GHz, количество ядер – 4
- Оперативная память - 4 GB
- Графический процессор – NVIDIA GeForce GT 555M, 1.35 GHz, количество ядер – 144
- Память графического процессора - 2 GB

Программные средства:

- Windows 7 Ultimate SP1, 64 Bit
- Matlab2011b
- CUDA 4.1
- Parallel Computing Toolbox 6.0
- Jacket 2.1.

Тестирование эффективности механизмов распараллеливания. Описанные выше механизмы распараллеливания вычислений, осуществляемых с помощью МАТЛАБ были применены нами при проведении исследования эффективности различных критериев выбо-

ра оптимальной модели множественной линейной регрессии. Под выбором оптимальной модели подразумевается определение подмножества регрессоров из совокупности всех возможных независимых переменных, которое наилучшим образом «объясняет» наблюдаемые значения зависимой переменной [4]. Определение эффективности различных критериев выбора оптимальной модели проводилось на основе исследования множества реализаций значений всех возможных независимых переменных, полученных с помощью имитационного моделирования [5]. Такой подход связан с необходимостью выполнять однотипные вычисления с различными данными.

Один из методов выбора оптимальной модели множественной регрессии это «метод всех регрессий» [4,5]. Если оценивается модель с k входными переменными, выбираемыми из множества содержащего m переменных, то общее число моделей, которые необходимо проанализировать, будет C_m^k . Расчет критерия качества модели (например, критерия минимума исправленного коэффициента детерминации [5]) можно производить одновременно, если значения всех входных переменных модели известны заранее. Именно это обстоятельство использовалось для распараллеливания вычислений: критерии качества могут быть рассчитаны одновременно для всех C_m^k моделей.

Оптимальная модель выбиралась на основе критерия минимума исправленного коэффициента детерминации [5]. Проводилось по 300 независимых экспериментов для выборок объемом в 500 элементов. Если число входных переменных, которые могут быть включены в модель, равно m , то в каждом эксперименте нужно оценить $m!$ моделей.

Использовалось распараллеливание вычислений на многоядерном CPU с помощью ParallelComputingToolbox (PCT), а также вычисления на GPU. В последнем случае для распараллеливания использовались два механизма – тот же PCT или Jacket. Полученные данные приведены в таблице 1. В таблице приводится время выполнения расчетов. Кроме того, в скобках указана величина ускорения, полученного за счет распараллеливания.

Таблица 1

m	m!	Вычисления на CPU		Вычисления на GPU	
		без распар.	с распар. (PCT)	с использов. PCT	с использов. Jacket
15	32768	5,2531	3,00539 (1,75)	74,77234 (0,07)	1,70391(3,08)
12	4096	0,6597	0,39113 (1,69)	9,561550 (0,07)	0,43767(1,50)
10	1024	0,1817	0,08285 (2,19)	2,389080 (0,08)	0,07154 (2,54)
7	128	0,0327	0,01339 (2,44)	0,288970 (0,11)	0,06903 (0,47)
5	32	0,0140	0,00450 (3,13)	0,079550 (0,18)	0,05534 (0,25)
3	8	0,0044	0,00226 (1,99)	0,016960 (0,26)	0,01248 (0,36)

Приведенные в таблице данные показывают, что при использовании многоядерного CPU с помощью PCT удалось достичь весьма существенного ускорения. При использовании GPU инструмент PCT вместо ускорения дает значительное замедление. Это связано, очевидно, с тем, что когда интерпретатор МАТЛАБ управляет выполнением программы, каждая команда отправляется отдельно в GPU [3]. Это резко замедляет рабочий процесс и убивает производительность. При использовании Jacket однопоточные М-коды превращаются в GPU-приложения, которые полностью используют аппаратные средства [2,3]. Кроме этого, Jacket включает в себя менеджер, который руководит передачей данных между памятью CPU и памятью GPU для оптимизации производительности кода [2]. Эффективность распараллеливания оказывается более высокой, когда число одновременно выполняемых действий велико. Именно такая ситуация возникает, когда число рассматриваемых входных переменных не менее 10. При небольшом числе входных переменных, ускорение за счет параллельных вычислений нивелируется замедлением, связанным с передачей данных между GPU и CPU [3].

Выводы. При проведении расчетов, которые содержат одни и те же вычисления, но с различными данными, имеется принципиальная возможность распараллеливания вычислений. Такая возможность может быть реализована при наличии многоядерных процессоров или графических процессоров в составе применяемого оборудования. В МАТЛАБ использование многоядерного CPU для параллельных вычислений эффективно поддерживается надстройкой Parallel Computing Toolbox (PCT). Однако использование данной надстройки для GPU не дает ускорения в вычислениях. Такого ускорения удастся

достичь, применяя программный продукт Jacket фирмы AccelerEyes. Jacket обеспечивает эффективное сопряжение МАТЛАБ с программно-аппаратной архитектурой CUDA (Compute Unified Device Architecture), которая позволяет организовывать вычисления с использованием графических процессоров NVIDIA.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.accelereyes.com/>
2. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://developer.nvidia.com/cuda-gpus>
3. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://computeraidedfinance.com/2012/06/11/matlab-gpu-toolbox-benchmarking-accelereyes-vs-mathworks-vs-gp-you/>
4. Дрейпер Н., Смит Г. – Прикладной регрессионный анализ: В 2-х кн. /Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика. 1987. – 351 с.
5. Крохин В. В., Кузьменко Н. О. Автоматизация выбора оптимальной модели линейной регрессии // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(78). – Днепропетровск, 2012. – С. 73-83.

Л.Я. Мартинович, Ю.В. Лазоренко

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ВУГЛЕЦЕВИХ КОМПОЗИТІВ

Анотація. В роботі проведено визначення наявності дефекту в композитному матеріалі та визначення розмірів дефекту типу розшарування за допомогою штучної нейронної мережі зворотного поширення.

Ключові слова: вуглецевий композит, неруйнівний контроль, дефект типу розшарування, нейронна мережа зворотного поширення.

Вступ. Контроль якості виробів та матеріалів – один з найважливіших факторів як високоякісного виробництва, так і безперебійної та безвідмовної роботи всього виробу в цілому під час експлуатації. Використання вуглецевовміщуючих композитних матеріалів в таких галузях як ракето-, авіа-, судно-, автомобілебудування та спеціальних виробів [1] ставить питання дефектоскопії на перше місце під час виробництва композитів та під час експлуатації виробів з них.

Найбільш ефективним і перспективним з точки зору автоматизації є вихрострумний метод, докладно розглянутий у роботах [2,3]. Раніше проведені дослідження ускладнювалися відсутністю необхідних обчислювальних потужностей, що гальмувало їх хід. Однак ефективність використання методу в даний час показана в ряді робіт. Аналіз даних вихрострумного контролю вимагає від оператора великої концентрації, високої кваліфікації і хороших навичок роботи з конкретним приладом. Через особливості суб'єктивного сприйняття інформації може значно знижуватися якість результатів контролю. У зв'язку з цим при організації вихрострумного контролю необхідно прагнути мінімізувати вплив людського фактора, підвищивши ефективність контролю за рахунок розробки та застосування методів автоматизованого пошуку і класифікації дефектів поверхневого шару. Які, у свою чергу, будучи інтегровані в систему пошуку дефектів, підвищують її ефективність.

Постановка задачі. Композитні матеріали мають магнітні властивості, спотворюючи магнітне поле навколо себе. Наявність неоднорідностей і дефектів призводить до зміни топології поля [3]. Аналіз розподілу поля розсіювання поблизу поверхні дозволяє, знаючи закони розподілу магнітного поля для можливих типів дефектів, оцінювати геометрію дефекту.

Основна частина. Для вирішення завдання дефектоскопії необхідно використовувати інтелектуальні системи розпізнавання отриманих електромагнітних образів. Однією з таких систем є нейронна мережа, що володіє цілим рядом можливостей, які дозволяють отримати задовільне рішення навіть за відсутності адекватної моделі та при наявності неповних та перекручених даних [4, 6].

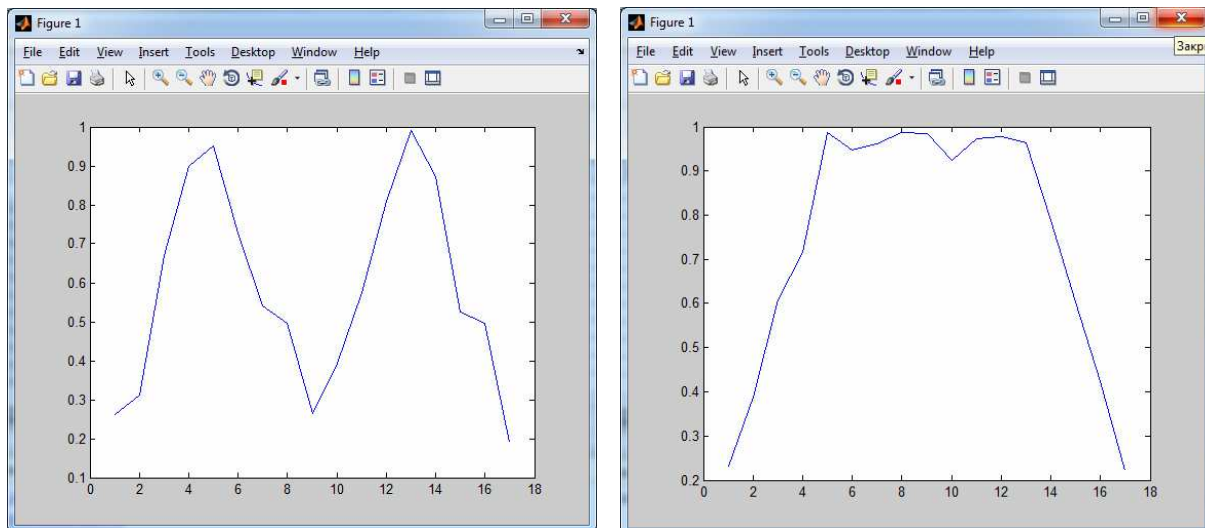
Для дослідження можливостей нейромережних технологій для ідентифікації пошкоджень на поверхні композитного матеріалу використовувались вектори даних, основані на модуляційних кривих, отриманих при взаємодії вихорострумowego перетворювача з композитним матеріалом без дефектів та з одним дефектом у вигляді розшарування. Односпрямована мережа зворотного поширення, що використовувалась нами для моделювання, містить один вхідний шар, один проміжний шар (схований) і один вихідний шар. Вхідний шар мережі містить стільки ж елементів скільки і у вхідній матриці точок у векторі (17). Кількість нейронів у проміжному шарі обирається експериментально. Вихідний шар містить стільки елементів, скільки потрібно визначити у цільовому векторі. Для моделювання використовувалась спеціально розроблена програма середовища MATLAB R2011a з використанням Neural Network Toolbox.

Навчання мережі відбувалось з вчителем. Вектори навчальної множини пред'являються послідовно, обчислюються помилки і ваги підлаштовуються для кожного вектора доти, поки помилка по всьому навчальному масиву не досягне прийнятно низького рівня [5, 6]. Для навчання було достатньо 600 зразків.

Далі вирішували дві задачі. Перша задача полягає у розпізнаванні наявності дефекту. Друга задача - визначення розмірів дефекту.

Для розпізнавання наявності дефекту використовували односпрямовану мережу зворотного поширення з 17 елементами на вхідному шарі, 4 нейронами на прихованому шарі та 1 елементом на вихідному шарі. Вхідні вектори даних розбиті на дві групи, що складаються з

17 точок. Сформували множину вхідних векторів, який містить 300 зразків навчання на поверхні з дефектами та 300 зразків навчання на поверхні без дефектів. На рисунку 1 приведено приклад розпізнавання вектора вхідних даних з дефектом та без дефекта.



а)

б)

Рисунок 1 – Вхідний вектор даних описує матеріал:

а) містить дефект; б) не містить дефекту

Процес навчання завершився за 276 ітерацій, які тривали 4 секунди. Розпізнавання поверхні вуглецевовміщуючих композитних матеріалів відбулося з середньою помилкою $7.6 \cdot 10^{-6}$ (рис. 2). Тобто, визначення наявності дефекту відбувається зі 100% -ю точністю.

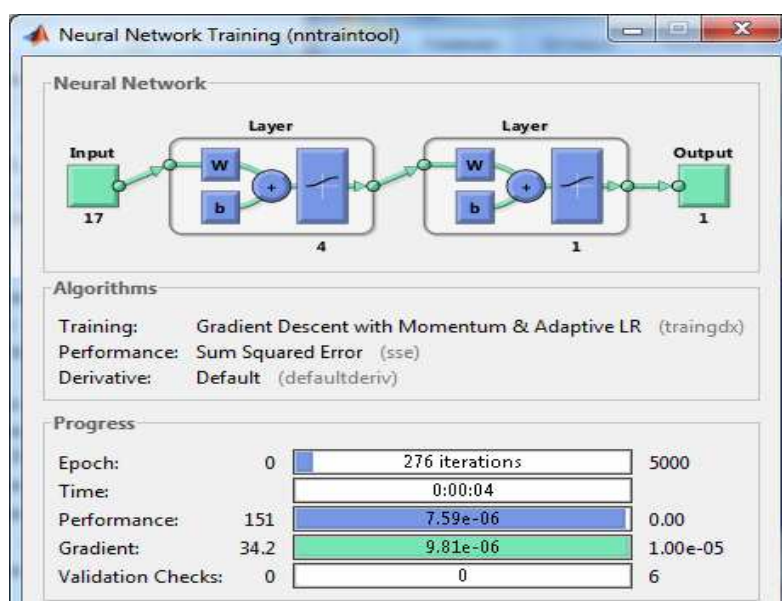


Рисунок 2 – Результат навчання мережі

Для вирішення другої задачі використовували односпрямовану мережу зворотного поширення з 37 елементами на вхідному шарі, 20 нейронами на проміжному шарі та 2 елементами на вихідному шарі. Вхідні вектори даних розбиті на групи, що складаються з 37 точок. Сформувавши множину вхідних векторів кількістю 474, які містять 12 зразків навчання на поверхні без дефектів та 462 зразка з дефектами шириною від 4 до 8 та глибиною від 4 до 20 точок.

Приклад вектору з дефектом глибиною 10, та шириною 8 показано на рисунку 3. Цього разу мережа навчилася за 5000 ітерацій, які тривали 60 секунд. Розпізнавання відбулось з середньою помилкою 0,275.

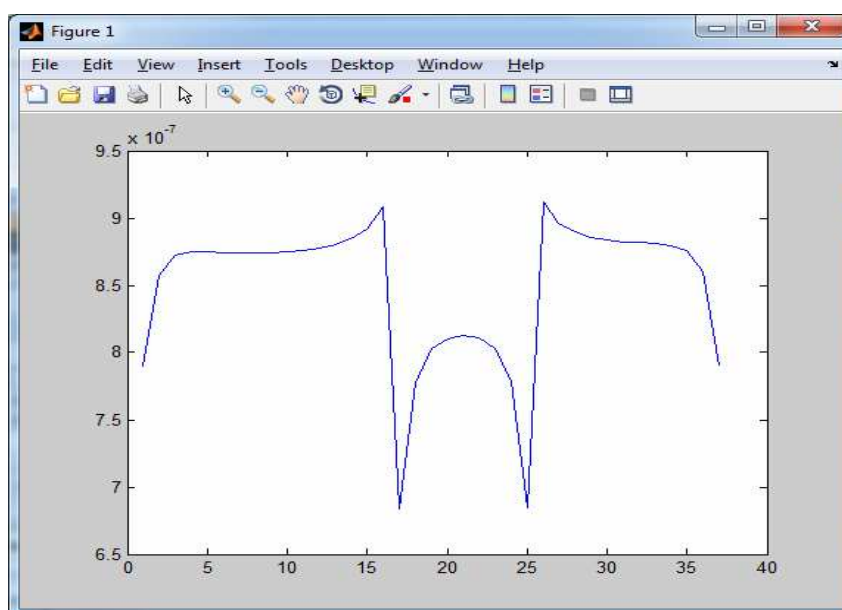


Рисунок 3 – Вхідний вектор описує матеріал з дефектом глибиною 10 та шириною 8 точок

При визначенні розмірів дефекту ширина визначається з максимальною похибкою 10%, а глибина дефекту з похибкою 22% при розмірах дефекту шириною 6 точок, глибиною 8.

Висновки. Застосування односпрямованої штучної нейронної мережі зворотного поширення для виявлення і розпізнавання локальних дефектів поверхневого шару вуглецевміщуючих композитних матеріалів та їх розмірів дозволяє точно визначити наявність дефекту. При визначенні розмірів дефектів, чим вони менші – тим більша похибка.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.mvmplant.com/materials/uglevolokno.html>
2. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. – Новосибирск, 1967. – 144с.
3. Дорофеев А.Л., Казаманов Ю.Ф. Электромагнитная дефектоскопия М. Машиностроение, 1980г. –232с.
4. Анил К. Джей Введение в искусственные нейронные сети // Открытые системы №04/97.
5. Янус Р.И. Магнитная дефектоскопия. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы – 1946. – 171с.
6. F.Uossermen._The_Nejrokomputer_engineering__the_Theory_and_pra
ctiks

МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ ЗАЕВТЕКТИЧНИХ ФАЗ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА

Анотація. Розраховано середню кількість атомів у елементарній комірці твердого розчину змінного складу $Fe_3P_{1-x}B_x$. Проведено квантово-хімічне моделювання структури твердих розчинів на основі фосфідів та боридів методом функціонала густини. Показано, що за умови зміни співвідношення між атомами метал-неметал від 3:1 до 7:3 відбувається різка зміна мікромеханічних властивостей фази $Fe_3P_{1-x}B_x$.

Ключові слова: фосфід заліза, борид заліза, твердий розчин, моделювання структури, довжина зв'язків між атомами.

Вступ. Переважна більшість дослідників відносять фосфор до шкідливих домішок у сталі та пропонують видаляти цей елемент, оскільки він знижує пластичність, ударну в'язкість, підвищує ламкість сплавів за низьких температур. Однак, у деяких випадках, наявність фосфору в сплавах чинить позитивну дію. Так, однією з властивостей сплавів на основі заліза, легованих фосфором та бором, є підвищена стійкість у корозійних та окислювальних середовищах [1, 2]. Дослідження мікромеханічних властивостей окремих фаз та сплавів у цілому, що приведені у цих роботах, показують, що сплави Fe-P-B, Fe-P-B-Mo можуть бути перспективними при їх використанні у якості наповнювача зносостійких композиційних матеріалів. Підтвердити чи спростувати цей висновок допоможе комп'ютерне моделювання структури твердих розчинів на основі фосфідів та боридів, що ростуть у заевтектичних сплавах.

Основна частина. При легуванні сплавів Fe-P іншими елементами, в залежності від елемента, утворюються відповідні розчини заміщення, проникнення або вилучення. Так, при легуванні бором, фосфід заліза набуває змінного складу $Fe_3P_{1-x}B_x$, що було показано у роботі [3]. Згідно даних, отриманих за допомогою мікроструктурного, рентгеноспектрального та локального мікрорентгеноспектрального аналізів, первинні кристали $Fe_2(B,P)$ ростуть у вигляді призм в обо-

лонці перитектичної фази $\text{Fe}_3(\text{P},\text{B})$ [4,5]. Вони розташовані на фоні кристалів, що мають змінний склад: у центрі – $\text{Fe}_3(\text{P},\text{B})$, а на периферії – $\text{Fe}_3(\text{B},\text{P})$. Це пов'язано з тим, що фази $\text{Fe}_3(\text{P},\text{B})$ та $\text{Fe}_3(\text{B},\text{P})$ утворюють неперервний ряд твердих розчинів [3]. Отже, у разі комп'ютерного моделювання структури слід зосередитися на моделюванні твердих розчинів на основі фосфіду Fe_3P та бориду Fe_3B .

Повністю заповнена елементарна комірка фосфіду Fe_3P складається з 32 атомів, але при легуванні бором склад фосфіду Fe_3P змінюється за формулою $\text{Fe}_3\text{P}_{1-x}\text{B}_x$. Тому, було розраховано кількість атомів у елементарній комірці $\text{Fe}_3\text{P}_{1-x}\text{B}_x$ залежно від вмісту фосфору та бору у сплаві за формулами, наведеними у роботі [6]:

$$n = \frac{\rho}{A \cdot 1,65 \cdot 10^{-24}} \cdot Q, \quad (1)$$

де ρ – питома вага; Q – об'єм елементарної комірки, см^3 ; A – середня атомна вага сплаву; $1,65 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ – $1/16$ маси атому кисню.

При зміні об'єму та густини кристала $\text{Fe}_3(\text{P},\text{B})$ зі збільшенням вмісту атомів бору, бор займає вакантні вузли решітки, заповнюючи її до максимуму. Надалі спостерігається лише заміщення атомів. За результатами досліджень побудовано діаграму, яка показує середню кількість атомів у елементарній комірці твердого розчину змінного складу (рис. 1). Цей результат підтверджує припущення, зроблене у роботі [7].

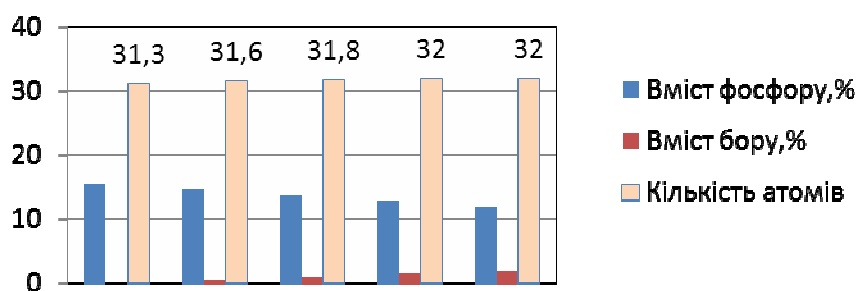


Рисунок 1 – Залежність середньої кількості атомів у елементарній комірці $\text{Fe}_3\text{P}_{1-x}\text{B}_x$ від вмісту фосфору та бору в сплаві

Для прогнозування властивостей твердого розчину змінного складу виконано квантово-хімічне моделювання елементарної комірки методом функціонала густини. Цей метод полягає у тому, що енергія основного стану молекули є функціоналом лише електронної густини $E = E[\rho(r)]$. У розрахунках використовували теорію функціо-

нала густини (DFT) із гібридним функціоналом густини B3LYP та базисним набором G-31G(d).

У якості розрахункового кластера розглядається комірka Fe_3P . Довжина зв'язку між атомами Fe–P складає $3,1 \text{ \AA}$, а між атомами Fe–Fe – $2,3 \text{ \AA}$. Для достовірного визначення стабільності конформації молекули потрібно проводити оптимізацію структури. Геометрична форма оптимізованої молекули Fe_3P наближається до тетраедру, де довжини відповідних зв'язків – $2,58$ та $2,65 \text{ \AA}$. Електронні хмари атомів перетинаються та утворюють електронні *s*-зв'язки. Зв'язок Fe–P залежить від локалізації електронів та містить як ковалентну (при утворенні *spd*-конфігурацій), так й іонну складові (за рахунок донорно-акцепторної взаємодії).

Проведено розрахунок довжин зв'язків між атомами фосфіду Fe_3P , легованого бором та бориду Fe_3B , легованого фосфором. У таблиці 1 наведено приклад розрахунків довжин зв'язків між атомами твердого розчину на основі фосфіду Fe_3P , що відповідає стехіометрії $\text{Fe}_{14}\text{P}_5\text{B}$.

Таблиця 1

Розрахункові довжини зв'язків між атомами твердого розчину на основі фосфіду Fe_3P , що відповідає стехіометрії $\text{Fe}_{14}\text{P}_5\text{B}$

№ атомів	довжина зв'язку, $\text{\AA}$	№ атомів	довжина зв'язку, $\text{\AA}$
Fe(1)-Fe(5)	2.3664	Fe(12)-Fe(5)	2.3391
Fe(15)-P(9)	2.2649	P(18)-Fe(12)	2.2613
Fe(11)-Fe(1)	2.3687	Fe(20)-Fe(12)	2.3671
Fe(16)-P(3)	2.2671	Fe(10)-Fe(19)	2.3454
P(3)-Fe(7)	2.2668	B(17)-Fe(19)	2.0019
Fe(16)-Fe(4)	2.3695	P(18)-Fe(20)	2.2730
Fe(13)-P(2)	2.2723	Fe(11)-Fe(13)	2.3396
Fe(7)-Fe(4)	2.3701	P(2)-P(18)	2.1832
Fe(4)-P(3)	2.2762	Fe(14)-P(2)	2.2645
Fe(15)-Fe(16)	2.3387	Fe(10)-B(17)	2.0180
Fe(14)-Fe(15)	2.3406	Fe(8)-Fe(10)	2.3418
Fe(13)-Fe(14)	2.3694	P(9)-Fe(8)	2.2646
P(9)-B(17)	1.9218	Fe(7)-Fe(8)	2.3389
Fe(20)-Fe(19)	2.3427	P(6)-Fe(5)	2.2597
Fe(11)-P(6)	2.2638	P(6)-Fe(1)	2.2858

Приклад графічного зображення молекул твердого розчину на основі фосфіду Fe_3P , побудованого у ході розрахунків, наведено на рис. 2.

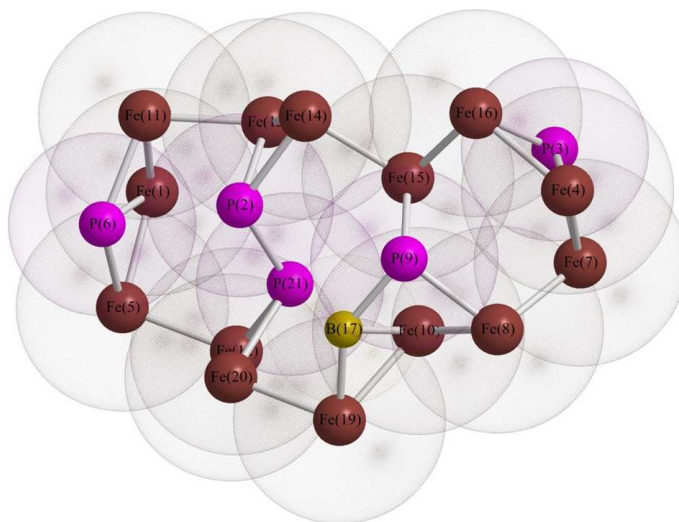


Рисунок 2 – Моделювання твердого розчину на основі фосфіду Fe_3P , що відповідає стехіометрії $\text{Fe}_{14}\text{P}_5\text{B}$

Відбувається зближення атомів заліза на відстань значно меншу, ніж характерна довжина зв'язку у молекулі. При цьому виникає сильне міжатомне відштовхування, обумовлене перекриттям електронних оболонок атомів та обмінною взаємодією електронів.

У твердого розчину із стехіометрією $\text{Fe}_9\text{P}_2\text{B}$ усі атоми неметалів зв'язані з атомами заліза. Однак, зі збільшенням вмісту бору у твердому розчині Fe_3P утворюється сполука із стехіометрією $\text{Fe}_{14}\text{P}_5\text{B}$. У цій сполуці спостерігається утворення зв'язків між атомами неметалів, що приводить до додаткового викривлення кристалічної ґратки. Це відбувається при переході від співвідношення між атомами метал-неметал від 3:1 до 7:3. Зв'язки між атомами стають більш жорсткими та напрямленими (табл. 3). Це повинно приводити до зміни мікрOMEХАнічних властивостей даної фази, а саме – до збільшення мікротвердості та мікрокрихкості.

Таблиця 2

Середні значення довжин зв'язків між атомами у сполуках (ангстрем)

	Fe_3B	$\text{Fe}_{14}\text{P}_5\text{B}$	$\text{Fe}_9\text{B}_2\text{P}$	$\text{Fe}_{15}\text{P}_4\text{B}$	$\text{Fe}_9\text{P}_2\text{B}$	Fe_3P
Fe-Fe	1,9762	2,3530	2,3460	2,3919	2,4115	2,6536
Fe-P	–	2,2680	2,2697	2,3984	2,4559	2,5860
Fe-B	1,9957	2,0100	2,0111	2,1132	2,1263	–
P-P	–	2,183	–	–	–	–
P-B	–	1,923	–	–	–	–

Результати квантово-хімічних розрахунків підтверджені результатами визначення мікроеханічних властивостей вказаних фаз, що отримані експериментально (табл. 3).

Таблиця 3

Результати визначення мікроеханічних характеристик фази $\text{Fe}_3(\text{P},\text{B})$ в структурі сплавів перерізу $\text{Fe}-12\% \text{P}-\text{B}$

Характеристика	$V_{\text{охол}},$ К/с	Вміст бору, % (ваг.)				
		0	0,5	1,0	2,0	4,0
Мікротвердість, ГПа	10	$5,2 \pm 1,2$	$6,0 \pm 1,0$	$6,2 \pm 1,2$	$6,7 \pm 1,0$	$5,8 \pm 1,2$
Мікрокрихкість, од.	10	$1,7 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,2$	$1,8 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,2$	$5,2 \pm 0,2$
Крихка мікро- міцність, ГПа	10	$0,9 \pm 0,04$	$0,8 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,04$	$0,63 \pm 0,01$	$0,65 \pm 0,02$

Висновки. Змодельована структура твердих розчинів, що утворюються у заевтектичних фазах на основі заліза. Методом функціонала густини розраховано кути та довжини зв'язків між окремими атомами. Моделювання показує, що надлишкове легування приводить до скорочення довжини міжатомних зв'язків легованої сполуки та утворенню зв'язків між атомами неметалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Самсонов, Г.В. Фосфиды // Г.В. Самсонов, Л.Л. Верейкина. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 128 с.
2. І.М. Спиридонова, Н.В. Карпенко “Фосфіди заліза та потрійні фази на їх основі”. – Фізика і хімія твердого тіла. – 2008. – том 9. – №2. – С. 389-393.
3. S. Runquist. // Acta. Chem. Scand. – 1962. – 16. – 1-19.
4. І.М. Спиридонова, О.В. Сухова, Н.В. Карпенко. // Порошковая металлургия. – 2009. – 48. – 119.
5. І.М. Спиридонова, О.В. Сухова, Н.В. Карпенко. // ДАН України. – 2011. – 2. – 96.
6. С.С. Штейнберг Металловедение. Металлургиздат, Свердловск, 1961, 470 с.
7. В.И. Ладьянов, В.А. Волков, А.А. Суслов Об условиях образования различных модификаций фазы Fe_3B при кристаллизации сплава $\text{Fe}_{79,5}\text{B}_{20,5}$ // Вестник удмуртского университета. Серия Физика. 2006. №4 с.145-150.

О.О. Дробахин, В.Г. Короткая, Г.Г. Шерстюк
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ МНОГОЧАСТОТНЫХ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ПРИ ОБРАТНОМ СИНТЕЗИРОВАНИИ АПЕРТУРЫ
В ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЗОНЕ ИЗЛУЧЕНИЯ**

Аннотация. Рассмотрен метод обратного синтезирования апертуры на основе обобщенного метода пространственной инверсной фильтрации. Для данных реального эксперимента, полученных с помощью измерительно-вычислительного комплекса, реализующего метод фурье-голографии для многочастотных сигналов, достигнуто повышение разрешающей способности в 1,6 – 4 раза в зависимости от расстояния между апертурой рупорной антенны и исследуемым объектом.

Ключевые слова: пространственное разрешение, обратное синтезирование апертуры, инверсная фильтрация, микроволновое изображение

Введение. Радиолокационные методы находят широкое применение в машиностроении и металлургической промышленности для решения ряда технологических вопросов в рамках соответствующих интеллектуальных информационно-управляющих систем [1]. Применение многочастотных широкополосных сигналов позволяет обеспечить высокое разрешение вдоль продольной координаты. При этом разрешение определяется шириной полосы частот. Повышение разрешения может быть достигнуто на основе применения методов цифрового параметрического спектрального анализа к данным измерений в частотной области [2]. Вместе с тем при решении многих задач обработки микроволновых изображений необходимо достичь высокое разрешение в поперечной плоскости. Традиционным является применение методов синтезирования апертуры [3-5]. Однако классическим является синтезирование апертуры при применении монохроматических сигналов. В ряде случаев экспериментально более удобным является применение обратного синтезирования апертуры, когда движется не антенна, а объект перед антенной. В ряде случаев объект

находится в промежуточной зоне излучения, что в совокупности с широкополосностью сигнала требует дополнительных исследований.

Постановка задачи. Целью данной статьи является получение оценок улучшения пространственного разрешения в поперечной плоскости при проведении измерений в частотной области в широкой полосе в промежуточной зоне излучения при использовании концепции обратного синтезирования апертуры.

Основная часть. Достижение поставленной цели осуществлено экспериментальным путем с использованием измерительного комплекса [6] в диапазоне 38-52 ГГц. В качестве излучателя была применена антенна в виде пирамидального рупора. Длина пирамидального рупора составляла 120 мм, а размеры апертуры – 46х46 мм. Отражение в горловине рупора было использовано в качестве опорного сигнала и позволило сохранить фазовую информацию на основе использования принципа фурье-голографии. После преобразования измеренной частотной зависимости с помощью дискретного преобразования Фурье во временную область были получены синтезированные импульсы. Ширина пика на уровне 3 дБ составляла ~ 70 пс, что соответствует пространственной протяженности ~ 20 мм. Флуктуации амплитуды пика составляли менее 2%. Хорошо известно, что для антенны с характерным размером апертуры D для длины волны λ граница дальней зоны R_2 определяется согласно $R_2 = 2D^2 / \lambda$, а для границы промежуточной зоны R_1 справедлива оценка $R_1 = 0.62\sqrt{D^3 / \lambda}$. Таким образом, R_1 и R_2 равны ~70 и ~535 мм для частоты 38 ГГц и ~130 и ~730 мм для частоты 52 ГГц, соответственно.

Традиционно при синтезировании апертуры используют преобразования Фурье и Френеля в зависимости от того, расположен ли объект в дальней или промежуточной зоне излучения. Однако проблема существенно усложняется при размещении объекта в ближней зоне излучения.

Для измерительного комплекса предпочтительным является проведение обратного синтезирования апертуры, когда сам комплекс неподвижен, а движется объект в поперечном направлении по отношению к оси излучения антенны. Первый этап измерений состоит собственно в измерении внесенного коэффициента отражения от исследуемого объекта на сетке частот. Такие измерения проводятся для каждого положения объекта, который смещался в поперечном на-

правления с шагом 1 мм. Затем осуществлялось преобразование Фурье частотных зависимостей для каждого положения объекта и выделение окном информативного фрагмента, соответствующего отражению собственно от объекта. Последняя процедура позволяет устранить отражения от окружающих объектов и отражений собственно в антенне. Временная ось расположена для всех преобразований параллельно оси излучения рупорной антенны. Единицы измерения вдоль указанной оси могут быть выбраны линейными согласно соотношению $y=ct/2$, где c – скорость света в вакууме, а t – временная переменная, полученная в результате преобразования Фурье. После этого для каждого значения оси y формируется массив данных, зависящих от значения поперечной координаты сканирования x . По аналогичной схеме проводится измерение эталонного объекта в виде медной вертикальной полосы шириной 10 или 5 мм. Синтезирование апертуры проводится посредством передаточной функции фильтра, которая формируется при помощи данных для медной полосы

$$H(y, f_x) = \frac{S_E(y, f_x)}{E(y, f_x) + \alpha}, \quad (1)$$

где $E(y, f_x)$ – фурье-преобразование пространственного образа эталонного объекта; $S_E(y, f_x)$ – фурье-преобразование пространственной зависимости от координаты x , полученной экспериментально для эталонного объекта при значении продольной пространственной координаты y ; α – параметр регуляризации. Предполагается, что пространственный образ эталонного объекта в виде медной полосы имеет вид прямоугольной функции пространственной координаты x с шириной, строго совпадающей с шириной медной полосы.

Спектр пространственного сигнала для случая синтеза апертуры для значения координаты y будем определять согласно методу среднегеометрической фильтрации [7], являющегося обобщением инверсной фильтрации

$$S_A(y, f_x) = \left[\frac{1}{H(y, f_x) + \alpha} \right]^Z \left[\frac{|H(y, f_x)|^2}{|H(y, f_x)|^2 + \alpha} \right]^V S(y, f_x), \quad (2)$$

где $S(y, f_x)$ – фурье-образ пространственной зависимости для значения y продольной координаты, Z и V – параметры регуляризации, кото-

рые лежат в пределах $[0,1]$. При проведении расчетов Z и V принимали значение, равное единице, f_x - пространственная частота для пространственной поперечной x -координаты.

После преобразования Фурье пространственная зависимость по координате x будет соответствовать результату синтеза апертуры. Предложенный подход в отличие от традиционного позволяет компенсировать не только фазовые, но и амплитудные искажения.

Измерения исследуемых объектов были проведены на расстояниях 20, 120 и 430 мм от плоскости апертуры рупора. В качестве тестового объекта была использована плоская структура в виде двух медных полосок, расположенных на расстоянии друг от друга. Расстояние между полосками в процессе исследований варьировалось.

Для расстояния от плоскости апертуры до исследуемого объекта в 20 мм раздельное формирование двух основных доминирующих пиков, соответствующих отражениям от двух медных полос, было достигнуто при расстоянии 25 мм между ними (рис. 1,в). Для необработанных данных при расстоянии между полосками менее 25 мм наблюдалась совокупность пиков, превышающая два, что обусловлено проявлением эффектов дифракции и интерференции. Для расстояния 15 мм после проведения обработки в соответствии с предложенной схемой было достигнуто наблюдение двух отдельных пиков (рис. 1,б). При этом не была достигнута корректная оценка расстояния между полосками.

Экспериментальные результаты, полученные при расположении объекта на расстоянии 120 мм, выявили некоторые интересные явления (рис. 2). Уровень боковых лепестков основных пиков был ниже, чем уровень лепестков при измерении на расстоянии 20 мм. Даже для расстояния между полосками 20 мм (в отличие от расстояния между апертурой и объектом 20 мм) наблюдались два отдельных пика, в то время как для расстояния между полосками 5 мм вместо двух отдельных пиков наблюдался только один общий пик (рис. 2,а, б). При этом для расстояния между полосками 30 мм наблюдался дополнительный третий пик между двумя основными пиками (рис. 2, в). Для всех случаев (рис. 2) предложенный метод обработки обеспечил раздельное наблюдение двух пиков и достаточно точную оценку расстояния между полосками.

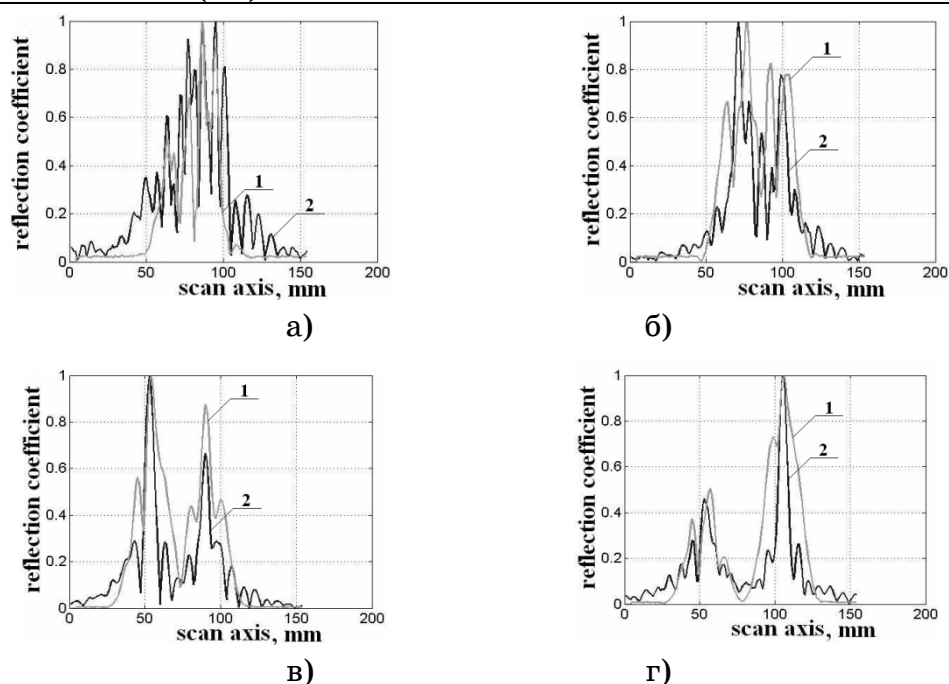


Рисунок 1 – Экспериментальные результаты для расстояния 20 мм от плоскости апертуры для значений расстояния между полосками 5 (а), 15(б), 25(в) и 40(г) мм: 1 – необработанные экспериментальные результаты, 2 – результаты обработки

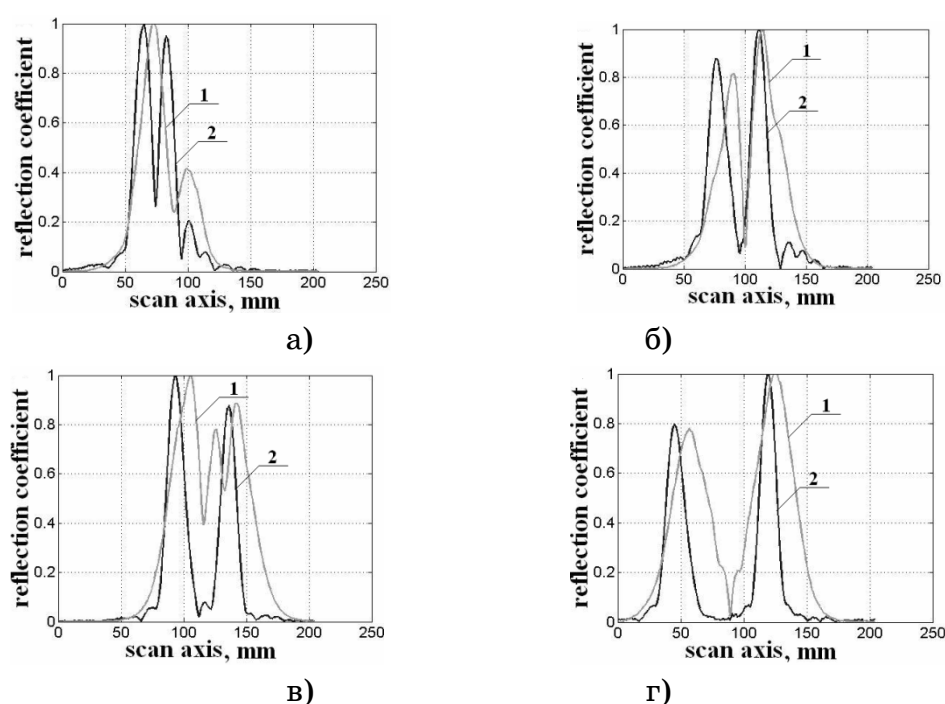


Рисунок 2 – Экспериментальные результаты для расстояния 120 мм от плоскости апертуры для значений расстояния между полосками 5 (а), 20(б), 30(в) и 60(г) мм: 1 – необработанные экспериментальные результаты, 2 – результаты обработки

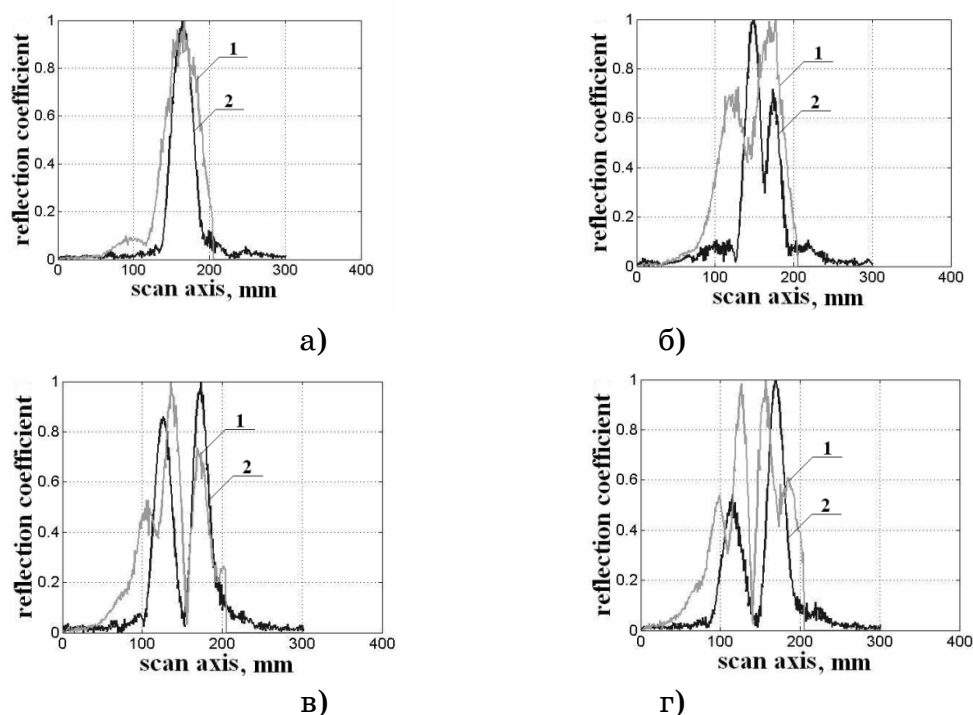


Рисунок 3 – Экспериментальные результаты для расстояния 430 мм от плоскости апертуры для значений расстояния между полосками 5 (а), 15(б), 35(в) и 45(г) мм: 1 – необработанные экспериментальные результаты, 2 – результаты обработки

При проведении измерений на расстоянии от апертуры 430 мм разделение сигналов, соответствующих отражениям от двух медных полос, было достигнуто при расстоянии 35 мм между ними (рис. 3,в). Для расстояния между полосками 15 мм после обработки было достигнуто разделение (рис. 3,б). Были получены достаточно точные оценки расстояния. Для расстояния 45 мм в необработанных экспериментальных данных были обнаружены 4 пика, но после обработки был получен правильный результат с двумя пиками (рис. 3,г). Неравенство амплитуд пиков от одинаковых полосок, по всей видимости, обусловлено непараллельностью плоскости сканирования объекта по отношению к плоскости апертуры рупорной антенны.

Выводы. Для реальных экспериментальных данных метод обратного синтезирования апертуры был практически реализован на основе применения среднегеометрической фильтрации как регулярized обобщенного варианта инверсной фильтрации. При этом измерение опорного сигнала для одиночной полоски позволило получить результаты в отсутствие математических моделей для зависимости амплитудных и фазовых характеристик от пространственных ко-

ординат. При применении предложенного подхода обработки экспериментальных данных было достигнуто улучшение разрешения изображения в поперечном направлении по сравнению с необработанными экспериментальными данными в 1,6–4 раза в зависимости от расстояния между апертурой рупора и плоскостью размещения объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиолокационный контроль металлургических процессов [Текст] / В.И. Головкин, О.Н. Кукушкин, Н.В. Михайловский и др. – Днепропетровск: Журфонд, 2010. – 428 с.
2. Дробахин, О.О. Применение метода Проуни для толщинометрии слоистых диэлектрических структур [Текст] / О.О. Дробахин, В.Г. Короткая // Дефектоскопия. – 1987. – № 5. – С. 19-31.
3. Osumi, N. Microwave Holographic Imaging Method with Improved Resolution [Text] / N.Osumi, K. Ueno // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1984. – Vol. AP-32. – №. 10. – P. 1018-1026.
4. Sabry, R. Advanced Polarimetric Synthetic Aperture Radar (SAR) and Electro-Optical (Eo) Data Fusion Through Unified Coherent Formulation of the Scattered EM Field [Text] / R.Sabry, P.W. Vachon // Progress In Electromagnetics Research. – 2008. – Vol. 84. – P. 189-203.
5. El Assad, S. Compression of Polarimetric Synthetic Aperture Radar Data [Text] / S. El Assad, X. Morin, D. Barba, V. Slavova // Progress In Electromagnetics Research. – 2012. – Vol. 122. – P. 269-292.
6. Alekseev, V. Microwave introscopy using multifrequency measurements and transversal scan [Text] / V. Alekseev, O. Drobakhin, Ye. Kondrat'yev, D. Saltykov // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. – 2006. - Vol. 21. – №. 2. – P. 24-26.
7. Василенко, Г.И. Восстановление изображений [Текст] / Г.И. Василенко, А.М. Тараторин. - М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.

В.П. Иващенко, А.И. Тимошкин

О НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ ПРОВЕРЯЮЩЕГО ТЕСТА ДЛИНЫ 2 ДЛЯ АСИНХРОННЫХ АВТОМАТОВ МУРА

Аннотация. Ставится проблема существования проверяющего теста длины 2 для асинхронных конечных детерминированных автоматов в отношении константных неисправностей на их внутренних и внешних полюсах. Проблема рассматривается в отношении асинхронных автоматов Мура. Получены необходимые и достаточные условия существования проверяющего теста длины 2 для асинхронных автоматов Мура относительно одиночных константных неисправностей на их внутренних и внешних полюсах.

Ключевые слова: Асинхронный автомат Мура, одиночная константная неисправность, проверяющий тест.

Постановка проблемы

Проблема построения последовательностных схем, в которых обнаружение неисправностей производится тестовыми последовательностями заранее фиксированной длины, является одной из наиболее сложных и малоисследованных проблем проектирования контролепригодных цифровых устройств [1,2]. Математическими моделями последовательностных схем являются конечные детерминированные автоматы [3,4]. Поэтому эта проблема тесно связана с задачей поиска различных классов автоматов, в которых обнаружение всех неисправностей из определенного множества осуществляется тестом заранее фиксированной длины (в том числе минимальной, т.е. длины 2), не зависящей от мощностей алфавита состояний, входного и выходного алфавитов [4,5,6].

Данная задача может быть сформулирована следующим образом: задан класс K неисправностей асинхронных конечных детерминированных автоматов, требуется установить, существует ли конечный автомат, обладающий проверяющим тестом заданной длины относительно заданного класса неисправностей. В частности, существу-

ет ли конечный автомат, обладающий проверяющим тестом длины 2 относительно неисправностей типа одиночных фиксаций константами внутренних и внешних переменных его системы канонических уравнений? В работах [7,8] затрагивается проблема проверяемости константных неисправностей входных и выходных переменных конечных автоматов двумя тест-векторами. Положительный ответ на поставленный вопрос для случая асинхронных абстрактных автоматов дается в работе [9]. Этот ответ порождает задачу поиска необходимых и достаточных условий существования проверяющих тестов длины 2 для асинхронных автоматов относительно одиночных константных неисправностей на полюсах, соответствующих входным, внутренним и выходным переменным их систем канонических уравнений.

Основное содержание

Данные условия формулируются в настоящей работе для асинхронных автоматов Мура [4,5].

Пусть имеется произвольный асинхронный абстрактный автомат Мура [4,5] $Q' = (A', B, E, M, N)$. При этом $A' \subseteq \{0, 1\}^m$, $B \subseteq \{0, 1\}^n$, $E \subseteq \{0, 1\}^k$ - соответственно множества внутренних состояний, входных и выходных сигналов, а M и N - функции переходов и выходов такие, что для любого входного вектора $b \in B$, $b = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ и вектора внутреннего состояния a определен вектор внутреннего состояния $a' = (\alpha_1, \dots, \alpha'_m)$, в которое перейдет автомат Q' из $a = (\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ под действием входного вектора $b = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, и для любого вектора внутреннего состояния $a \in A'$, $a = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ определен выходной вектор $e = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_k)$; $\varepsilon_i \in \{0, 1\}$:

$$\begin{cases} M((\alpha_1, \dots, \alpha_m), (\beta_1, \dots, \beta_n)) = (\alpha'_1, \dots, \alpha'_m) \\ N(\alpha_1, \dots, \alpha_m) = (\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_k) \end{cases} \quad (1)$$

Отображение M можно представить как систему из m функций $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$ так, что $\mu_i(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m, \beta_1, \dots, \beta_n) = \alpha'_i$ для $i = \overline{1, m}$, а отображение N - как систему из k функций $\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_k$ так, что $\nu_j(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) = \varepsilon_j$ для $j = \overline{1, k}$. При этом, вводя временной параметр t (временную переменную), можно перейти от системы (1) к системе

$$\left\{ \begin{array}{l} z_1(1) = z_1^0, \dots, z_m(1) = z_m^0; \\ z_1(t+1) = \mu_1(z_1(t), \dots, z_m(t), x_1(t+1), \dots, x_n(t+1)), \\ \quad \vdots \\ z_m(t+1) = \mu_m(z_1(t), \dots, z_m(t), x_1(t+1), \dots, x_n(t+1)); \\ y_1(t+1) = v_1(z_1(t+1), \dots, z_m(t+1)), \\ \quad \vdots \\ y_k(t+1) = v_k(z_1(t+1), \dots, z_m(t+1)); \end{array} \right. \quad (2)$$

Теорема 1. Асинхронный абстрактный автомат Мура $Q' = (A', B, E, M, N)$ обладает проверяющим тестом длины 2 относительно одиночных константных неисправностей на получах, соответствующих входным, внутренним и выходным переменным его системы канонических уравнений тогда и только тогда, когда существуют входные векторы $b_s = (\beta_1^s, \beta_2^s, \dots, \beta_n^s) \in B$ и

$j \in \{1, \dots, n\}$ $\beta_j^s, \beta_j^p \in \{0, 1\}$, удовлетворяющие следующим условиям:

$$\begin{aligned}
& (\forall i \in \{1, 2, \dots, m\})(\forall j \in \{1, 2, \dots, n\})(\forall a = (\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \alpha_i, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m) \in A') \\
& (\forall \zeta \in \{0, 1\})(h(N(\mu_1((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_{i-1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \\
& \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \\
& \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s)); N(M((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \alpha_i, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s))) + \\
& h(N(\mu_1(\mu_1((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_{i-1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \\
& \alpha_m), b_s), \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \\
& \dots, \alpha_m), b_s), b_p), \dots, \zeta, \dots, \mu_m(\mu_1((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_{i-1}((\alpha_1, \\
& \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \\
& \mu_m((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), b_p)); N(M(M((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \alpha_i, \alpha_{i+1}, \dots, \\
& \alpha_m), b_s), b_p))) > 0 \ \& \ h(N(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \zeta, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s))); N(M(a, (\beta_1^s, \\
& \dots, \beta_{j-1}^s, \beta_j^s, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)))) + h(N(M(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \zeta, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)), (\beta_1^p, \\
& \dots, \beta_{j-1}^p, \zeta, \beta_{j+1}^p, \dots, \beta_n^p))); N(M(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \beta_j^s, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)), (\beta_1^p, \dots, \\
& \beta_{j-1}^p, \beta_j^p, \beta_{j+1}^p, \dots, \beta_n^p)))) > 0 \}
\end{aligned} \tag{3}$$

$$(\forall a \in A') \{h(N(M(a, b_s)); N(M(M(a, b_s), b_p))) = k\} \quad (4)$$

где $h(c, d)$ - метрика Хемминга [6] для двоичных векторов c и d .

Доказательство. Необходимость. Для обнаружения константной неисправности ζ на любом полюсе и асинхронного автомата Мура Q' проверяющим тестом длины 2 необходимо существование по крайней мере одной пары входных векторов $b_s = (\beta_1^s, \beta_2^s, \dots, \beta_n^s) \in B$ и $b_p = (\beta_1^p, \beta_2^p, \dots, \beta_n^p) \in B$, где $\beta_i^s, \beta_i^p \in \{0, 1\}, s \neq p$, такой, что

$$(\forall u \in U)(\forall a = (\alpha_1, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_m) \in A')(\forall \zeta \in \{0, 1\}) \\ \{(N_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(a, b_s)) \neq N(M(a, b_s))) \vee (N_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(a, b_s), b_p)) \neq \\ N(M(M(a, b_s), b_p)))\}$$

где U - множество полюсов рассматриваемого автомата. При этом запись u/ζ означает присутствие на полюсе и неисправности ζ .

Если полюсу u асинхронного автомата Мура Q' соответствует внутренняя переменная z_i его системы канонических уравнений, то

$$N_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(a, b_s)) = N(\mu_1((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_{i-1}(\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \\ \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s)); \\ N_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(a, b_s), b_p)) = N(\mu_1(\mu_1((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \\ \mu_{i-1}((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), \\ b_s), b_p), \dots, \zeta, \dots, \mu_m(\mu_1((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_{i-1}((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \zeta, \\ \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), \\ b_s), b_p));$$

Следовательно, необходимо чтобы

$$(\forall i \in \{1, \dots, m\})(\forall a = (\alpha_1, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_m) \in A')(\forall \zeta \in \{0, 1\}) \\ (h(N(\mu_1((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \mu_{i-1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \\ \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s)); \\ N(M(a, b_s))) + h(N(\mu_1(\mu_1((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \\ \mu_{i-1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), \\ \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \alpha_{i-1}, \zeta, \alpha_{i+1}, \dots, \alpha_m), b_s), b_p), \dots, \zeta, \dots, \mu_m(\mu_1((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \\ \dots, \mu_{i-1}((\alpha_1, \dots, \zeta, \alpha_m), b_s), \zeta, \mu_{i+1}((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), b_s), \dots, \mu_m((\alpha_1, \dots, \zeta, \dots, \alpha_m), \\ b_s), b_p)); N(M(M(a, b_s), b_p))) > 0$$

Если полюсу u асинхронного автомата Мура Q' соответствует входная переменная x_j его системы канонических уравнений, то

$$N_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(a, b_s)) = N(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \zeta, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)));$$

$$N_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(M_{u/\zeta}(a, b_s), b_p)) = N(M(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \zeta, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)), (\beta_1^p, \dots, \beta_{j-1}^p, \zeta, \beta_{j+1}^p, \dots, \beta_n^p)));$$

Следовательно, необходимо чтобы

$$\begin{aligned} &(\forall j \in \{1, \dots, n\})(\forall a = (\alpha_1, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_m) \in A')(\forall \zeta \in \{0, 1\})(h(N(M(a, \\ &(\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \dots, \beta_n^s))), N(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \beta_j^s, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)))) + \\ &h(N(M(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \zeta, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)), (\beta_1^p, \dots, \beta_{j-1}^p, \zeta, \beta_{j+1}^p, \dots, \beta_n^p))), \\ &N(M(M(a, (\beta_1^s, \dots, \beta_{j-1}^s, \beta_j^s, \beta_{j+1}^s, \dots, \beta_n^s)), (\beta_1^p, \dots, \beta_{j-1}^p, \beta_j^p, \beta_{j+1}^p, \dots, \\ &\beta_n^p)))) > 0) \end{aligned}$$

Для обнаружения одиночных константных неисправностей на полюсах асинхронного автомата Мура, соответствующих выходным переменным его системы канонических уравнений, тестовой последовательностью $b_s b_p$ входных векторов необходимо чтобы

$$(\forall a \in A') \{h(N(M(a, b_s)); N(M(M(a, b_s), b_p))) = k\}$$

Таким образом, необходимость условий (3)–(4) доказана. Достаточность условий (3)–(4) довольно легко просматривается. Теорема доказана.

Следствие 1. Если асинхронный автомат Мура $Q' = (A', B, E, M, N)$ проверяем тестовой последовательностью $b_s b_p$ входных векторов $b_s = (\beta_1^s, \dots, \beta_n^s)$, $b_p = (\beta_1^p, \dots, \beta_n^p)$ относительно одиночных константных неисправностей на полюсах, соответствующих входным, внутренним и выходным переменным его системы канонических уравнений, то

$$(\forall a \in A')(h(M(a, b_s); M(M(a, b_s), b_p)) = m) \quad (5)$$

$$h(b_s, b_p) = n \quad (6)$$

Заключение

На основе сформулированных условий проверяемости асинхронных автоматов Мура двумя векторами относительно одиночных константных неисправностей могут быть разработаны различные методы синтеза легко тестируемых и самоконтролирующихся последовательностных схем, в частности асинхронных триггеров различных типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беннеттс Р.Дж. Проектирование тестопригодных логических схем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 176 с.
2. Электроника СБИС. Проектирование микроструктур: Пер. с англ. / Под ред. Н. Айнспрука. – М.: Мир, 1989. – 256 с.
3. Богомоллов А.М., Сперанский Д.В. Аналитические методы в задачах контроля и анализа дискретных устройств. – С.: Изд-во Саратов. ун-та, 1986. – 240 с.
4. Кудрявцев В.Б., Алешин С.В., Подколзин А.С. Введение в теорию автоматов. – М.: Наука, 1985. – 320 с.
5. Лазарев В.Г., Пийль Е.И. Синтез управляющих автоматов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.
6. Бохманн Д., Постхоф Х. Двоичные динамические системы: Пер. с нем. / Под ред. О.П. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400с.
7. Горяшко А.П. Некоторые результаты теории синтеза легко тестируемых схем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. N2. – 1982. – С. 139-150.
8. Горяшко А.П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
9. Тимошкин А.И. О некоторых классах структурных автоматов, тестируемых двумя входными наборами // Изв. АН Эстонии. Физ., матем. – 1992. – Т. 41, N3. – С. 199-206.

В.П. Пошивалов, Ю.Ф. Даниев, Л.В. Резниченко
**ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ
ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Аннотация. Приведены общие принципы обеспечения надёжности эргатических систем. Отмечено, что рост интенсивности труда операторов требует разработки новых подходов к обеспечению надёжности человека-оператора. Рассмотрены основные подходы к обеспечению надёжности программного обеспечения.

Ключевые слова: эргатическая система, программное обеспечение, оператор, техническая система.

Постановка проблемы. Эргатические системы (ЭС) составляют значительную часть промышленного и иного оборудования, в частности, объектов авиации, ракетно-космической техники, железнодорожного транспорта, атомной промышленности, предприятий металлургии и т. д. Обеспечение безотказности функционирования здесь практически всегда связано с обеспечением безопасности функционирования основных систем: технической системы, человека-оператора и программного обеспечения. Нарушение работоспособности любой из входящих в ЭС системы может приводить и приводит к негативным последствиям порой и катастрофическим. Успешное решение этих задач выдвигает на первый план обеспечение надёжности этих систем. Под обеспечением надёжности здесь понимается комплекс взаимосвязанных организационно-технических мероприятий, проводимых на всех стадиях жизненного цикла системы, направленных на достижение и сохранение заданных требований к надёжности.

Целью работы является разработка общих принципов обеспечения надёжности ЭС, состоящей из оператора, программного обеспечения (ПО) и технической системы.

Основная часть. Одно из первых определений надёжности человека-оператора дано в работе [1], где надёжность его работы определяется как способность к сохранению требуемых рабочих качеств в условиях возможного усложнения обстановки или как устойчивость

оптимальных рабочих параметров индивида. Ряд исследователей при определении понятия надежности человека-оператора используют вероятностную характеристику выполнения им производственной задачи – вероятность выполнения поставленной задачи в течение определенного времени с допустимой точностью при сохранении в заданных пределах параметров функционирования работающей системы [2]. В работе [3] полагают, что при определении надежности деятельности человека-оператора необходимо использовать не только результирующие параметры его работы, но и показатели психологических и физиологических характеристик субъекта профессиональной деятельности.

Проблема обеспечения надежности деятельности операторов имеет достаточно проработанные теоретические основы и практические результаты. Вместе с тем, проблему нельзя считать решенной из-за увеличения сложности ЭС, усложнения комплексов управления, которое обусловило рост интенсивности труда операторов в различных отраслях промышленности. Все это вызывает новые подходы к обеспечению надёжности операторов.

Степень надежности ПО характеризуется вероятностью работы программного продукта без отказа в течение определенного периода времени [5-10]. Известны четыре подхода по обеспечению надёжности ПО:

- предупреждение ошибок;
- самообнаружение ошибок;
- самоисправление ошибок;
- обеспечение устойчивости к ошибкам.

Для достижения цели предупреждения ошибок в готовых продуктах ПО необходимо сконцентрировать внимание на следующих вопросах:

- борьбе со сложностью;
- обеспечении точности перевода;
- преодолении барьера между пользователем и разработчиком;
- обеспечении контроля принимаемых решений.

Трудности с обеспечением надёжности ПО связано с тем, что до сих пор не существует общепринятой меры надежности компьютерных программ. Однако, судя по имеющимся публикациям, вопрос обеспечения надежности программ считается более важным, чем во-

прос ее оценки. Следует отметить, что гарантировать полное отсутствие ошибок в ПО нельзя, но в рамках этого подхода можно достигнуть приемлемого уровня надежности ПО.

Остальные три подхода связаны с организацией самих продуктов технологии – программ. Они учитывают возможность ошибки в самих программах. Самообнаружение ошибки в программе означает, что программа содержит средства обнаружения отказа в процессе ее выполнения. Самоисправление ошибки в программе позволяет не только находить отказ в процессе ее выполнения, но и исправлять последствия этого отказа, для чего в программе должны быть соответствующие средства. Обеспечение устойчивости программы к ошибкам определяется тем, что в программе содержатся средства, позволяющие локализовать область влияния отказа программы, либо уменьшить его неприятные последствия, а иногда предотвратить катастрофические последствия отказа. Однако эти подходы используются весьма редко, относительно чаще используется обеспечение устойчивости к ошибкам. Связано это с тем, что многие простые методы, используемые в технике в рамках этих подходов, неприменимы в программировании, например, дублирование отдельных блоков и устройств (выполнение двух копий одной и той же программы всегда будет приводить к одинаковому эффекту – правильному или неправильному). Также необходимо учитывать, что добавление в программу дополнительных средств приводит к её усложнению, иногда значительному, что в какой-то мере мешает методам предупреждения ошибок.

Задачей обеспечения надежности технической системы является составление перечня работ и мероприятий, проводимых на всех стадиях создания и эксплуатации. Она является наиболее разработанной частью ЭС.

Методы обеспечения надежности можно разбить на два класса: общетехнические и специальные. Такое разделение достаточно условно, также как условно разбиение всех методов на группы. Это сделано в целях лучшего овладения методами и более полного их поэтапного использования. Применение каждого из них в отдельности в той или иной степени способствует повышению надежности, но только совокупность различных методов обеспечивает эффективное повыше-

ние надежности, т. е. достижение требуемого ее значения при минимальных издержках.

К общетехническому классу методов отнесены такие, которые могут использоваться во всех случаях проектирования систем, независимо от того сформулированы заказчиком или не сформулированы требования по надежности к данной системе. Применение этих методов не приводит к значительному увеличению стоимости системы, ее габаритов, веса, потреблению ею энергии и т. д., однако могут при их применении обеспечить необходимый уровень надежности при не больших дополнительных затратах при проектировании и изготовлении (монтаже). К общетехническим методам, прежде всего, относится группа организационных методов, которые реализуются на начальных этапах разработки и охватывают вопросы, относящиеся к системе в целом. Все они необходимы разработчику системы при составлении или согласовании ТЗ, составленного проектировщиком – заказчиком системы.

Специальные методы применяются в том случае, если использованные общетехнические методы не обеспечили предъявленные требования к надежности или же эти методы указаны в ТЗ на разработку системы как обязательные для применения.

Перечень всех мероприятий, проводимых на этапе разработки, указывается в специальном документе – программе обеспечения надежности.

Основной задачей программы обеспечения надежности является составление перечня работ и мероприятий, проводимых на всех стадиях создания и эксплуатации устройства с целью достижения требуемого уровня надежности. Программа обеспечения надежности состоит из ряда разделов, которые содержат:

- основные сведения по назначению и структуре устройства;
- эксплуатационно-технические характеристики;
- номенклатура и количественные значения показателей надежности;
- организационно-технические требования по обеспечению надежности;
- пути обеспечения надежности;
- условия эксплуатации устройства, совокупность внешних действующих факторов;

– перечень научно-технических проблем надежности, которые должны быть решены при создании устройства (основные материалы, отработка новых физических и химических процессов, освоение новой эксплуатационной базы, новой технологии, новых средств контроля и т. д.).

– перечень работ и мероприятий по обеспечению надежности с развертыванием их по стадиям жизненного цикла; ссылки на нормативно-технические и методические документы, используемые при выполнении этих работ; перечень потенциальных источников отказов; перечень подразделений и смежных организаций, которые являются исполнителями работ.

Одним из важных вопросов обеспечения надёжности на этапе эксплуатации является техническое обслуживание. Оно позволяет повысить пребывания системы в работоспособном состоянии и тем самым решить задачу обеспечения заданного уровня надёжности функционирования системы.

Одним из параметров технического обслуживания является периодичность обслуживания, под которым понимается интервал времени или наработка между данным видом технического обслуживания и последующим таким же видом или другим большей сложности.

В общем виде задачу определения периодичности технического обслуживания можно сформулировать так: найти оптимальное значение $T_{оп}$, исходя из минимума затрат на восстановление или замену элемента на единицу наработки

$$C_t = M(C/t), \quad (1)$$

где M – символ математического ожидания; C – затраты на восстановление или замену элемента; t – наработка элемента.

При постоянном значении C

$$C_t = C \int_0^{\infty} \frac{g(t)}{t} dt, \quad (2)$$

где $g(t)$ – функция плотности распределения наработки до отказа.

Можно рассматривать решение этой задачи для четырех случаев: элемент заменяют при отказе; элемент восстанавливают при отказе; элемент заменяют при отказе или при достижении наработки определенного значения; элемент восстанавливают при отказе или при достижении наработки $T_{оп}$ [12].

Запишем выражение (2) для последнего случая

$$C_t = C_{ОВО} \left\{ \int_0^{T_0} \frac{g(t)}{t} dt + \frac{C_{ОВП}}{T_{ОП}} [1 - G(T_{ОП})] \right\}, \quad (3)$$

где $C_{ОВО} = C_O + C_{ВО}$; $C_{ОВП} = C_O + C_{ВП}$; C_O , $C_{ВО}$, $C_{ВП}$ – соответственно стоимости работ, связанных с разборкой, поиском отказа и сборкой; восстановлением элемента при отказе; восстановлением элемента при профилактическом обслуживании.

Пусть плотность распределения наработки до отказа системы имеет вид

$$g(t) = n\alpha \exp(-\alpha t) [1 - \exp(-\alpha t)]^{n-1}, \quad (4)$$

где α и n – параметры распределения.

Тогда при $n=2$, продифференцируем выражение (3) и, приравняв нулю производную, находим соотношение для определения оптимального значения $T_{ОП}$

$$T_{ОП} = \frac{C_{ОВП} [2 - \exp(-\alpha T_{ОП})]}{2\alpha (C_{ВО} - C_{ВП}) [1 - \exp(-\alpha T_{ОП})]}. \quad (5)$$

При стратегии обслуживания, когда составная часть заменяется при отказе, а при профилактическом обслуживании происходит ее восстановление, оптимальное значение $T_{ОП}$ определится из выражения

$$T_{ОП} = \frac{C_{ОВП} [2 - \exp(-\alpha T_{ОП})]}{2\alpha (C_3 - C_{ВП}) [1 - \exp(-\alpha T_{ОП})]}, \quad (6)$$

Выводы:

- приведены общие принципы обеспечения надёжности эргатических систем;
- отмечено, что рост интенсивности труда операторов требует разработки новых подходов к обеспечению надёжности человека-оператора;
- рассмотрены основные подходы к обеспечению надёжности ПО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Небылицын В.Д. Избранные психологические труды. - М.: Педагогика, 1990. – 408 с.
2. Леонова А. Б., Медведев В. И. Функциональные состояния человека в трудовой деятельности.-М., 1981- 135 с.
3. Щепланов В.Ю., Бобров А.Ф. Надежность деятельности человека в автоматизированных системах и ее количественная оценка // Психологический журнал. -1990. Т. 11. -№3. -С. 60-69.
4. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. - Л., 1982. -269 с.
5. Липаев В. В. Надежность программных средств Текст. / В. В. Липаев. – М.: Синтег, 1998.-220 с.
6. Липаев В. В. Программная инженерия. Методологические основы Текст. / В. В. Липаев. – М.: ТЕИС, 2006. - 608 с.
7. Майерс Г. Надежность программного обеспечения Текст. / Г. Майерс; перевод с англ. Ю. Ю. Галимова; под ред. В. Ш. Кауфмана. – М.: Мир, 1980.-360 с.
8. Тейер Т., М. Липов, Э. Нельсон Надежность программного обеспечения – М.: Мир, 1981.– 323 с.
9. Боэм Б., Браун Дж., Каспар Х. и др. Характеристики качества программного обеспечения. – М.: Мир 1981. – 208с.
10. Шапоров В.Н Надежность информационных систем: Сыктывкар, 2013 – 86 с.
11. Лазуков В.Л. Способы обеспечения надёжности технических систем // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 1 – стр. 33-33
12. Переверзев Е.С., Алпатов А.П., Даниев Ю.Ф., Новак П. Надежность технических систем. – Днепропетровск: Пороги, 2002. – 396с.

УДК 622.74

Т.М. Кадильникова, Н.О. Сіліна, І.Л. Шинковська, І.П. Заєць
**ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
ВІБРАЦІЇ ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ СИРОВИНИ ДЛЯ
МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Анотація. Розглянуті умови застосування вібрації для класифікації сировини в апаратах та машинах, що реалізують вібраційний вплив на матеріал і являють собою типові обладнання. Досліджується вплив параметрів вібрації на розташування пристроїв і режими експлуатації обладнання. Для підтримки тривалого терміну коливань пропонуються заходи, пов'язані з введенням спеціальної лінії зворотного зв'язку.

Ключові слова. Класифікація матеріалів, вібрація, зони тертя, структурні зв'язки, робочий тиск.

Формулювання проблеми

Головною задачею сучасного вітчизняного виробництва є підвищення конкурентоспроможності готової продукції за якістю з одночасним зниженням її собівартості. Все це стає можливим завдяки створенню нової техніки в короткі терміни часу й на рівні кращих світових стандартів, що висуває до проектно-конструкторської діяльності особливі вимоги. Процес розробки проектних рішень передбачає випробування, доведення обладнання, а також удосконалення існуючих технологій.

У зв'язку з цим на перший план виходить розробка ефективної технології класифікації сипких матеріалів, які є сировиною для багатьох процесів металургійного виробництва. Однак тут виникає низка проблем, що вимагають свого рішення, а саме: скорочення терміну операцій, підвищення стійкості обладнання для класифікації матеріалів, зниження витрат електроенергії та інші.

Аналіз публікацій за темою досліджень

В даний час все більш широке застосування отримує використання вібрації для операцій класифікації сировини при підготовці матеріалів для металургійного виробництва. Роботами вітчизняних і зарубіжних дослідників [1-3] доведено, що ефективність і доцільність

промислового застосування коливань звукового та ультразвукового діапазонів обумовлено можливістю використання різних фізичних ефектів, таких як зменшення опору матеріалів при переміщенні щодо віброуючої поверхні, дисипативні тепловиділення, створення певних форм відносного руху фаз. Зниження зон тертя дозволяє транспортувати сипкі та в'язкі матеріали, інтенсифікувати їх переробку [4]. Завдяки дисипативним виділенням теплоти забезпечується висока однорідність температурних полів, а також, при відповідних видах руху однієї фази відносно іншої, частки матеріалів направлено переміщуються, при цьому підвищується насипна щільність, полегшується регулярне укладання частинок матеріалу, збільшується поверхня контакту фаз, прискорюється їх переміщення [5]. Як наслідок вище наданих явищ здійснюється порушення контактів частинок матеріалу між собою, і матеріал починає розпушуватися та посилено циркулювати. Під впливом вібрації перебудовуються і руйнуються структурні зв'язки в багатьох матеріалах, які знаходяться у в'язкому стані, що призводить до скорочення терміну класифікації, зниження робочого тиску та витрат електроенергії, підвищенню якості виробництва.

Формування цілей статті

Апарати та машини, що реалізують вібраційний вплив на матеріал, являють собою, як правило, типові обладнання, яке забезпечене спеціальними пристроями, що генерують вібрації та передають їх як виконавчим органам, так і безпосередньо матеріалу. Ціллю статті є дослідження умов застосування вібрації для класифікації сировини, впливу параметрів вібрації на розташування пристроїв і режимами експлуатації обладнання.

Основна частина

Основною частиною будь-якої вібраційної системи є віброзбудники, які встановлюються безпосередньо на корпусах агрегатів таким чином, щоб частота, амплітуда та напрям вібрації знаходилися у певному співвідношенні, завдяки цьому знижується коефіцієнт зовнішнього тертя, усувається завісання та завалювання матеріалів. Віброзбудники забезпечують варіацію параметрів вібрації, що дозволяє коригувати режими роботи обладнання, при цьому велике значення надається дослідженню частоти власних коливань всієї вібротехнічної системи.

Частота власних коливань - невід'ємна властивість будь-якої частини системи, і вона залежить тільки від характеристик самого об'єкта, тому для поліпшення її роботи необхідно або узгодити коливання її частин або, навпаки, зруйнувати їх. Для цього існує безліч технічних рішень, а саме [6]:

- дія поля має бути узгоджена (або неузгоджена) з власною частотою об'єкта;

- частоти використовуваних полів повинні бути узгоджені (або неузгоджені);

- якщо дві дії (наприклад, вимір і зміна) несумісні, то одну дію здійснюють в паузах іншої, і будь-які паузи в одній дії повинні бути заповнені іншою корисною дією;

- якщо потрібно вимірювати характеристики системи, зміна яких впливає на зміну власної частоти коливань, то дію зовнішнього поля узгоджують (або неузгоджують) з власною частотою системи і по настанню резонансу судять про зміни контрольованих характеристик.

Експериментальні дослідження свідчать про те, що з найбільшою амплітудою коливаються об'єкти при точному збігу частот [1-3]. При цьому ззовні витрачається мінімум енергії на підтримку резонансу, а всередину системи надходить максимум енергії, що підводиться. При настанні резонансу різні частини системи коливаються з різною амплітудою – в діапазоні від максимальної до мінімальної (нульова амплітуда – у вузлах коливань). Тому різні ділянки відчують різні напруги. Якщо не можна або недоцільно впливати зовнішньою силою безпосередньо на об'єкт, то вводять резонатор, з'єднаний з об'єктом. Якщо частота власних коливань об'єкта змінюється за невідомим нам законом, то необхідно організувати зворотний зв'язок між об'єктом і генератором – джерелом зовнішнього поля. Будь-які рухомі об'єкти коливаються, тому можна організувати ці коливання певним чином на виконання корисних функцій, тобто скористатися наступними правилами:

- коливальна система сама управляє надходженням до неї енергії ззовні, тобто виникає зворотний зв'язок;

- амплітуда коливань не залежить від початкових умов;

- частота коливань близька до власної частоти.

Зворотний зв'язок, що виникає при цьому у коливальній системі, діє у вузькому діапазоні, а саме, варто трохи змінити будь-який

параметр системи, і коливання зникнуть. Для підтримки тривалого терміну коливань необхідно введення спеціальної лінії зворотного зв'язку. На нестійке тіло встановлюють датчик, сигнал від якого посилюється і прямує на джерело коливань (генератор), а генератор, у свою чергу, встановлює в кожен даний момент часу резонансну частоту, тобто система працює в режимі автоколивань при будь-яких змінах умов роботи.

Зокрема, частота генератора налаштовується на частоту власних коливань робочого органу машини на холостому ходу (тобто без навантаження), але як тільки робочий орган починає працювати і відчувати різноманітні напруги, його частота тут же змінюється і не збігається з частотою генератора, і система виходить з режиму резонансу, що призводить до зниження К.К.Д.. Позбутися цього можна, якщо на власну частоту робочого органу впливають мінливі властивості класифікованого матеріалу, тоді щоб хоч якась частка енергії дійшла за призначенням, доводиться непомірно збільшувати потужність збудників і генераторів, що вкрай неефективно і марнотратно.

У процесі роботи різні частини системи повинні бути узгоджені між собою за частотою для кращої взаємодії або неузгоджені для запобігання шкідливої взаємодії – резонансу. Причому, вигідна взаємодія не тільки власних частот коливань, але й окремих характеристик, що впливають на цю частоту – швидкості, маси, розмірів, форми, пружності та ін.

Існує кілька можливостей винятку шкідливої дії резонансу [7]:

- 1) ухилення від резонансу шляхом зміни частоти власних коливань;
- 2) організація взаємонейтралізації двох (або більше) шкідливих дій;
- 3) введення другої зовнішньої дії в протифазі до шкідливого впливу;
- 4) самонейтралізація шкідливої дії шляхом її поділу на дві частини зсуву, одного з них по фазі і їх зіткнення;
- 5) самонейтралізація шкідливої дії шляхом введення додаткових вантажів зі змінним центром тяжіння;
- 6) ліквідація джерела зовнішньої дії.

Простий і єдиний вихід з резонансу – руйнування його шляхом перестановки двигунів, прибираючи зайві зв'язки.

Якщо неможливо надати коливання об'єкту, тоді про його стан судять по змінам власної частоти коливань приєднаного об'єкта – у нашому випадку сипучого матеріалу. Самі власні коливання, а саме факт їх наявності або відсутності, можуть служити сигналом для виявлення та кількісного вимірювання. Якщо амплітуда цих коливань недостатня, їх можна підсилити за допомогою резонаторів. Практично будь-які зміни власної частоти коливань об'єкта можуть служити надійними показниками зміни його механічного стану та фізичних властивостей. Ці зміни можуть носити наступний характер: швидкість загасання власних коливань, механічні втрати в об'єкті при зміні його власної частоти, амплітуди власних коливань, спектр звукових коливань.

Для підтримки тривалого терміну коливань вібраційних пристроїв необхідна взаємодія робочих органів з оброблюваним середовищем, що створює нелінійні навантаження на коливальну систему машини, в результаті чого рух часток сипкого матеріалу можна описати системою диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{aligned}\frac{\partial x}{\partial t} &= y + D_x \frac{\partial^2 x}{\partial r^2}; \\ \frac{\partial y}{\partial x} &= a[1 - v(r)x^2]y - \omega^2(r)x + D_y \frac{\partial^2 y}{\partial r^2},\end{aligned}\tag{1}$$

де x, y - відхилення концентрації матеріалу по осях x і y , відповідно, від початкових положень; t - час; r - радіус кривизни поверхні просіювання; D_x, D_y - коефіцієнти дифузії матеріалу у напрямку осей x і y відповідно; $\omega(r), v(r)$ - парціальні частота та амплітуда коливань поверхні просіювання, відповідно; a - вібраційна сила.

Дослідження розв'язків системи (1), які одержані за допомогою асимптотичного метода [6], показали, що головною особливістю синхронізації коливань в такій системі є те, що віброзбудники повинні розташовуватися один від одного на відстані порядку $s = \sqrt{2D_y/\omega}$,

що дозволяє розглядати сипке середовище як окремі кластери (області) розміром s , всередині яких має місце коливання різних частот з найбільшим зсувом фаз, який не перевищує величини π .

Якщо неможливо визначити зміни власної частоти системи, то використовують приєднані об'єкти і проводять аналіз змін частоти

власних коливань таких об'єктів і по них судять про зміни в системі. Навіть не приєднаний і далеко розташований, але резонуючий об'єкт, може бути здатним допомогти в задачах на вимірювання та виявлення наявності саме цих коливань.

У коливальній системі, що знаходиться в резонансному стані, інерційні та пружні сили взаємно врівноважуються, а енергія збудника коливань витрачається тільки на подолання дисипативних сил. При цьому задана збуджуюча сила призводить до порушення коливань з максимальною амплітудою, і, навпаки, будь-яка задана амплітуда коливання досягається при мінімальному силовому впливі з боку збудника коливань.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Застосування вібраційних приладів забезпечує ефективність процесів класифікації матеріалів. Практична реалізація цих процесів пов'язана з великими технічними труднощами через необхідність дотримання суворого настроювання і виконання узгодження параметрів приводу машини, її коливальної системи і технологічного навантаження.

Для того щоб вібраційний прилад працював у резонансному режимі у всьому діапазоні зміни його завантаження матеріалом, необхідно забезпечити неперервне регулювання частоти збудження.

При роботі вібраційного приладу взаємодія робочого органу з оброблюваним середовищем створює, як правило, нелінійні навантаження на коливальну систему всієї машини. Подальші дослідження такої системи дозволять виявити нові вібраційні ефекти, реалізація яких у пристроях може радикально підвищити ефективність ряду технологічних процесів, що пов'язані з використанням вібрації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Надутый В.П. Результаты исследований зависимости эффективности классификации от параметров вертикального вибрационного грохота / В.П. Надутый, П.В. Левченко, И.П. Хмеленко // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2011. – Вып. 4(64). – С. 45 - 48.
2. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. – СПб.: ООО «Диа-СофтЮП», 2005. – 608 с.
3. Левченко П.В. Экспериментальное определение зависимости эффективности классификации вертикального вибрационного грохота от комплекса доминирующих факторов / П.В. Левченко // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2012. - № 2. – С.41–46.
4. Надутый В.П. Экспериментальный анализ влияния параметров просеивающей поверхности и характера загрузки на эффективность виброгрохочения / В.П. Надутый, П.В. Левченко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 48 (89). – С.36– 43.
5. Математические методы анализа нелинейных колебательных систем / Митропольский Ю.А., Мосеенков Б.И., Самойленко А.М., Блехман И.И., Неймарк Ю.И. – В кн.: Вибрации в технике (справочник). Т.2. Колебания нелинейных механических систем. М.: Машиностроение, 1979. – 324 с.
6. [@Горин](mailto:jlproi@ukr.net) Ю.В. Указатель физических эффектов и явлений для использования при решении изобретательских задач [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.jlproi.org>
7. Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981. – 352 с.

Р.В. Кирия, Т.Ф. Мищенко, Ю.В. Бабенко

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СИСТЕМЫ ПОДЗЕМНОГО КОНВЕЙЕРНОГО
ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ В РЕЖИМЕ
ПОДДЕРЖАНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ГРУЗА В
АККУМУЛИРУЮЩИХ БУНКЕРАХ**

Аннотация. На основании метода динамики средних получен алгоритм определения средней пропускной способности и средней энергоемкости системы подземного конвейерного транспорта с бункерами, работающими в режиме поддержания заданного уровня груза в них. При этом учитывались простои конвейеров и бункеров, а также самоподобие структуры системы конвейерного транспорта.

Дан анализ эффективности функционирования системы подземного конвейерного транспорта в зависимости от максимальных уровней груза в бункерах и производительностей питателей.

Ключевые слова: системы подземного конвейерного транспорта, самоподобие структуры, функционирование, бункер, заданный уровень груза, пропускная способность, энергоемкость, критерий эффективности.

Основной задачей стоящей перед подземным конвейерным транспортом угольных шахт является повышение эффективности его работы, т.е. обеспечение максимальной пропускной способности при минимальных затратах электроэнергии идущей на транспортирование горной массы.

Другими словами, при заданных грузопотоках, поступающих из лав, обеспечить максимальную пропускную способность системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт при минимальной энергоемкости транспортирования.

При этом с увеличением пропускной способности системы конвейерного транспорта угольных шахт, энергоемкость ее транспортирования увеличивается, а с уменьшением пропускной способности энергоемкость транспортирования уменьшается.

В этом случае согласно [1, 2] за критерий эффективности системы конвейерного транспорта можно принять сверстку

$$K=c_1m_c-60c_2w_c, \quad (1)$$

где m_c – средняя пропускная способность (средняя производительность) системы конвейерного транспорта, т/мин; w_c – средняя энергоемкость (средняя электроэнергия, потребляемая системой конвейерного транспорта на транспортирование горной массы, кВт; c_1, c_2 – себестоимости одной тонны угля и одного кВт электроэнергии соответственно.

Следовательно, для эффективной работы системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт необходимо, чтобы при заданных значениях грузопотоков поступающих из лав критерий эффективности K принимает максимальное значение.

Одним из путей повышения эффективности работы системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт является поддержание заданного объема груза в бункере с помощью управления скоростью питателя в частности отключения питателя при достижении заданного максимального уровня груза в бункере и отключения питателя при достижении минимального значения уровня груза в бункере. При этом поступающие в бункеры грузопотоки не выключаются и их величина меньше производительностей питателей [3].

В этом случае ставится задача определения критерия эффективности системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт в зависимости от грузопотоков, поступающих из лав, объемов аккумулирующих бункеров, скоростей питателей и простоев конвейерного оборудования.

Согласно (1), для определения критерия эффективности функционирования K необходимо вычислить среднюю пропускную способность m_c и среднюю энергоемкость транспортирования w_c системы конвейерного транспорта угольных шахт в режиме поддержания заданного уровня груза в аккумулирующих бункерах.

В работах [2, 3] на основании метода динамики средних для марковских процессов получен алгоритм определения средней пропускной способности, средней энергоемкости системы конвейерного транспорта с последовательным и параллельным соединением конвейеров с бункерами, работающими в обыкновенном режиме, т.е. без управления скоростью питателей.

В данной работе, аналогично работам [2] и [3], рассмотрен вопрос определения средней пропускной способности и средней энергоемкости транспортирования системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт с бункерами, работающими в режиме поддержания заданного уровня груза в бункере, и на основании этого определен критерий ее эффективности.

Системы конвейерного транспорта высокопроизводительных угольных шахт имеют разветвленную самоподобную древовидную структуру, состоящую из конвейеров и бункеров.

Для определения значений m_c и w_c необходимо знать структуру системы конвейерного транспорта.

Рассмотрим сначала последовательное соединение бункеров, работающих в режиме поддержания заданного уровня груза в бункере (рис. 1).

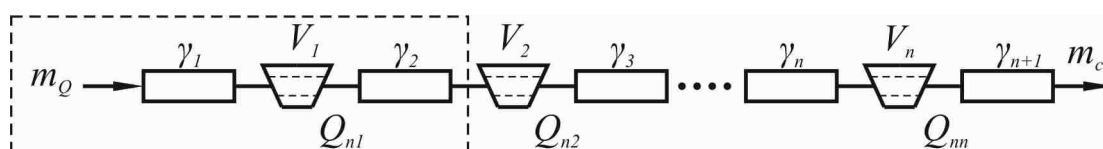


Рисунок 1 - Расчетная схема последовательного соединения бункеров

Для определения пропускной способности системы конвейерного транспорта с последовательным соединением бункеров воспользуемся свойством самоподобия ее структуры.

Выделим в этой схеме с левого края простейшую систему «конвейер – бункер – конвейер», обведенную пунктирной линией (см. рис. 1).

Согласно работам [4, 5], среднюю пропускную способность этой простейшей системы можно определить по формуле:

$$m_{c1} = \left(1 - \frac{\gamma_2}{1 + \gamma_2} e^{-\frac{\Delta V_1 \mu_1}{\bar{m}_{Q1}}} \right) \bar{m}_{Q1}, \quad (2)$$

где $\bar{m}_{Q1} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}$; $\gamma_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$; $\gamma_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}$; $\Delta V_1 = V_{11} - V_{21}$ ($m_Q < Q_{n1}$).

Здесь m_Q – производительность надбункерного конвейера, т/мин; V_1 – объем бункера, м³; V_{11} , V_{21} – минимальный и максимальный объемы грузов в первом бункере, м³; γ_1 , γ_2 – коэффициенты аварийности надбункерного и подбункерного конвейеров; λ_1 , μ_1 и λ_2 , μ_2 –

параметры потоков отказов и восстановлений надбункерного и подбункерного конвейеров соответственно, 1/мин.

Продолжая этот процесс n раз (n – количество бункеров в системе), определим среднюю пропускную способность системы с последовательным соединением бункеров по рекуррентным формулам

$$m_c = m_{c_n}, \quad (3)$$

где

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{i+1}}{1 + \gamma_{i+1}} e^{-\frac{\Delta V_i \mu_i}{\bar{m}_{Q_i}}} \right) \bar{m}_{Q_i}, \quad (4)$$

$$\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_{\partial_i}} = m_{c_{i-1}}; \quad \Delta V_i = V_{1i} - V_{2i}; \quad \gamma_{\partial_i} = \frac{m_Q}{m_{c_{i-1}}} - 1; \quad m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1};$$

$$\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}; \quad (i = 1, n; \quad \mu_i = \mu_c; \quad m_Q < Q_{n_i}); \quad n - \text{количество бункеров в системе};$$

$\gamma_i = \lambda_i / \mu_i$ – коэффициенты аварийности конвейеров системы конвейерного транспорта; λ_i, μ_i – параметры потоков отказов и восстановлений конвейеров системы конвейерного транспорта соответственно, 1/мин; V_i – объемы бункеров, м³; V_{1i}, V_{2i} – минимальный и максимальный объемы груза в i -ом бункере.

Определим теперь для системы конвейерного транспорта с последовательным соединением бункеров, работающих в режиме заданного уровня груза в бункере, среднюю энергоёмкость (см. рис. 1).

Рассмотрим сначала простейшую схему «конвейер – бункер – конвейер» и определим для нее затраты электроэнергии (мощности привода), идущей на транспортирование груза с учетом простоя конвейеров, в результате имеем:

$$w_1^{(s)} = \frac{w_0^{(s)}}{1 + \gamma_{c_0}} + w_2^{(c)}, \quad (5)$$

$$\text{где } \gamma_{c_0} = \frac{m_{c_0}}{m_{c_1}} - 1; \quad m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}.$$

Здесь $w_1^{(s)}$ – мощность, потребляемая системой «бункер – конвейер – бункер», обведенной пунктирной линией, кВт; $w_0^{(s)} = w_1^{(c)}$ – мощность, потребляемая первым конвейером (кВт); $w_2^{(c)}$ – мощность, потребляемая вторым конвейером (кВт).

Продолжая этот итерационный процесс n раз, в результате получим среднюю энергоёмкость транспортирования всей системой последовательного соединённых конвейеров и бункеров, равную

$$w_c = w_n^{(s)}, \quad (6)$$

где

$$w_i^{(s)} = \frac{w_{i-1}^{(s)}}{1 + \gamma_{c_{i-1}}} + w_{i+1}^{(c)}; \quad \gamma_{c_{i-1}} = \frac{m_{c_{i-1}}}{m_{c_i}} - 1 \quad (i = 1 \dots n). \quad (7)$$

Здесь $w_{i-1}^{(s)}$ – мощность энергии, потребляемой системой последовательно соединённых конвейеров и бункеров, расположенных до i -го бункера; $w_{i+1}^{(c)}$ – мощность энергии, потребляемая $(i+1)$ -ым конвейером; $m_{c_{i-1}}$ – пропускная способность системы последовательно соединённых конвейеров и бункеров, расположенных до i -го бункера, определяемая по формуле (4).

Согласно [6], мощность i -го конвейера системы конвейерного транспорта определяется по формуле

$$w_i^{(c)} = N_i, \quad (8)$$

где

$$N_i = \frac{L_i}{1000\eta_i} [k_{1i}v_{\mathcal{L}_i}(q'_{p_i} + q''_{p_i} + 2q_{\mathcal{L}_i})\omega'_i \cos \alpha_i + v_{\mathcal{L}_i}q_{\Gamma_i}(k_{1i}\omega'_i \cos \alpha_i + \sin \alpha_i)] \quad (9)$$

Здесь N_i – мощность потребляемого приводом i -го конвейера, кВт; L_i – длина i -го конвейера, м; η_i – коэффициент полезного действия привода i -го конвейера; $v_{\mathcal{L}_i}$ – скорость ленты i -го конвейера, м/с; q_{Γ_i} , $q_{\mathcal{L}_i}$ – соответственно погонные веса насыпного груза и ленты i -го конвейера, Н/м; q'_{p_i} , q''_{p_i} – соответственно погонные веса вращающихся частей роlikоопор верхних и нижних ветвей ленты i -го конвейера, Н/м; α_i – угол наклона i -го конвейера, град; k_{1i} – коэффициент, учитывающий местное сопротивление i -го конвейера; ω'_i – коэффициент сопротивления движению ленты с грузом по роlikоопорам i -го конвейера.

В формуле (9) погонная нагрузка q_{Γ_i} зависит от текущей производительности конвейера Q_i (т/ч) и определяется по формуле

$$q_{\Gamma_i} = \frac{Q_i}{0,36v_{\mathcal{L}_i}}. \quad (10)$$

Текущая производительность i -го конвейера системы конвейерного транспорта определяется по формуле

$$Q_i = 60m_{c_{i-1}} \quad (i = 1, n+1). \quad (11)$$

Рассмотрим систему конвейерного транспорта с параллельным соединением бункеров, работающих в режиме поддержания заданного уровня груза в бункере (рис. 2).

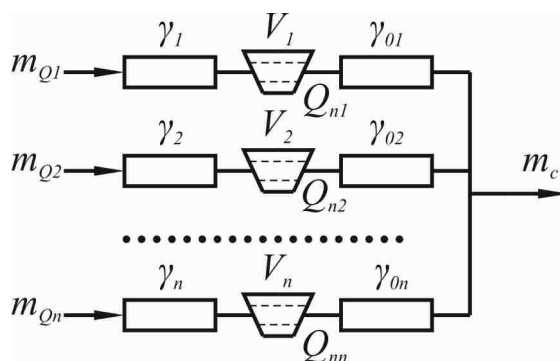


Рисунок 2 - Расчетная схема с параллельным соединением бункеров

Для этой системы, так же, как и в предыдущем случае, используя самоподобие ее структуры, в результате получим

$$m_c = \sum_{i=1}^n m_{c_i}, \quad (12)$$

где

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{0i}}{1 + \gamma_{0i}} e^{-\frac{\Delta V_i}{\bar{m}_{Q_i}} \mu_i} \right) \bar{m}_{Q_i}; \quad (13)$$

$$\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_i}; \quad \Delta V_i = V_{1i} - V_{2i} \quad (m_{Q_i} < Q_{n_i}; \quad i = 1, n; \quad \mu_c = \mu_i); \quad n - \text{ко-}$$

личество бункеров в системе; γ_i, γ_{0i} – коэффициенты аварийности надбункерного и подбункерного конвейеров.

Для древовидной веерной структуры соединения бункеров (рис. 3) среднее значение пропускной способности системы конвейерного транспорта определяется по тем же формулам (12) и (13), в которых значения коэффициентов аварийности γ_{0i} надбункерных конвейеров заменяется значением коэффициента аварийности γ_0 сборного конвейера ($\gamma_{0i} = \gamma_0, i = 1, n$).

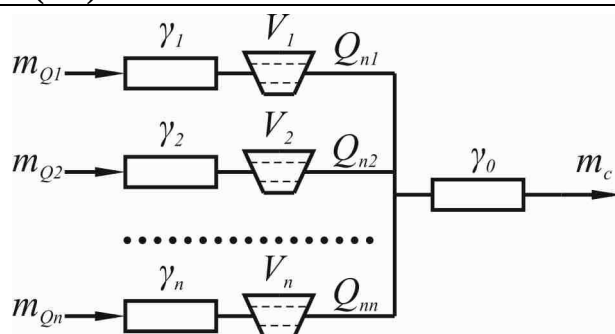


Рисунок 3 - Расчетная схема древовидной веерной структуры соединения бункеров

Энергоемкость транспортирования груза для системы конвейерного транспорта с параллельным соединением бункеров, по аналогии с системой конвейерного транспорта с последовательным соединением бункеров, определяется по рекуррентным формулам:

$$w_c = \sum_{i=1}^n w_i^{(s)}, \quad (14)$$

где

$$w_i^{(s)} = \frac{w_{0i}^{(s)}}{1 + \gamma_{\varepsilon 0i}} + w_{0i}^{(c)}, \quad (15)$$

$$\gamma_{\varepsilon 0i} = \frac{\overline{m}_{Q_i}}{1 + \gamma_i} - 1; \quad \overline{m}_{Q_i} = \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_i} \quad (i = 1, n).$$

Здесь $w_{0i}^{(s)}$, $w_{0i}^{(c)}$ – мощности электроэнергии, идущие на транспортирование груза надбункерным и подбункерным конвейерами i -ой конвейерной линии (кВт), определяемые аналогично по формулам (8)–(10).

При этом производительности надбункерных и подбункерных конвейерных линий определяются по формулам $Q_i = 60m_{c_{0i}}$, $Q_{0i} = 60m_{c_i}$.

Рассмотрим систему конвейерного транспорта древовидной самоподобной структуры с бункерами, работающими в режиме поддержания заданного уровня груза (рис. 4).

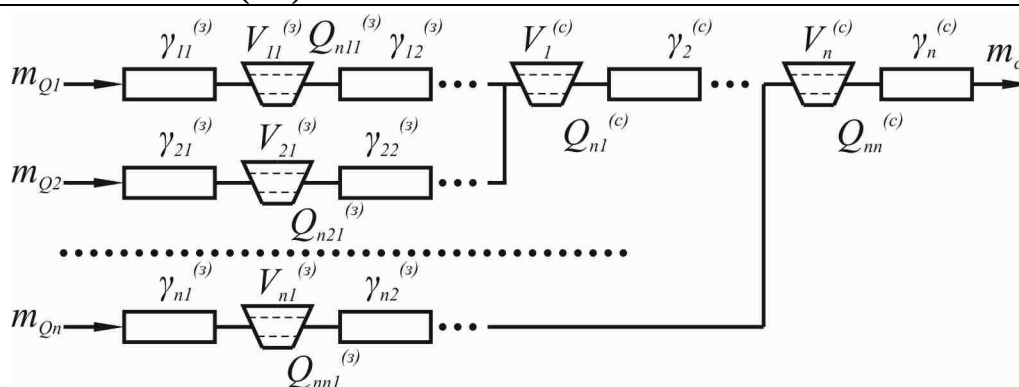


Рис. 4. Расчетная схема самоподобной древовидной структуры соединения бункеров

Обозначим через $\gamma_i^{(c)}, \gamma_{ij}^{(3)}$ – коэффициенты аварийности стволовых и забойных конвейеров соответственно; $V_i^{(c)}, V_{ij}^{(3)}$ – объемы бункеров стволовых и забойных путей, м^3 ; $Q_{n_i}^{(c)}, Q_{n_{ij}}^{(3)}$ – производительности питателей стволовых и забойных путей (т/мин), где $i = 1, n$; $j = 1, k_i$; k_i – количество бункеров в i -ой забойной линии; $V_{1_i}^{(c)}, V_{2_i}^{(c)}$ – максимальный и минимальный объемы груза в бункерах стволового пути, м^3 ; $V_{1_{ij}}^{(c)}, V_{2_{ij}}^{(c)}$ – максимальный и минимальный объемы груза в бункерах стволового пути, м^3 .

Согласно работе [2], пропускная способность этой системы определяется по рекуррентным формулам:

$$m_c = m_{c_n}, \quad (16)$$

где

$$m_{c_i} = \left(1 - \frac{\gamma_{i+1}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}} e^{-\frac{\Delta V_i^{(c)}}{m_i^{(s)}} \mu_i} \right) m_i^{(s)}, \quad (17)$$

$$\gamma_{\partial_i}^{(c)} = \frac{\sum_{k=1}^i m_{Q_k}}{m_i^{(s)}} - 1; \quad m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\partial_i}^{(3)}}; \quad m_{c0} = 0;$$

$$\Delta V_i^{(c)} = V_{1i}^{(c)} - V_{2i}^{(c)}; \quad (\mu_i = \mu_c; i = 1, n; m_{Q_i} < Q_{n_i}).$$

Здесь $\gamma_i^{(c)}$ – коэффициенты аварийности конвейеров стволового пути; $\gamma_{\partial_i}^{(c)}$ – эквивалентные коэффициенты аварийности стволовых пу-

тей с бункерами; $\gamma_{\mathfrak{z}_i}^{(3)}$ – эквивалентные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами;

Эффективные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами определяются по формулам:

$$\gamma_{\mathfrak{z}_i}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}^{(3)}} - 1, \quad (\gamma_{\mathfrak{z}_1}^{(c)} = \gamma_{\mathfrak{z}_1}^{(3)}, \quad i = 1, n), \quad (18)$$

где $m_{c_i}^{(3)}$ – средняя пропускная способность i -го забойного пути системы конвейерного транспорта с бункерами, определяемая аналогично по формулам (3) и (4).

Аналогично, как и при последовательном соединении конвейеров и бункеров, учитывая самоподобие древовидной системы конвейерного транспорта, получим рекуррентные формулы для определения средней энергоемкости транспортирования w_c системы конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с бункерами (см. рис. 2) в виде:

$$w_c = w_n^{(s)}, \quad (19)$$

где

$$w_i^{(s)} = \frac{w_{i-1}^{(s)}}{1 + \gamma_{\mathfrak{z}_{i-1}}^{(c)}} + w_{i+1}^{(c)} + w_{i+1}^{(3)}, \quad (i=1, n), \quad (20)$$

$$\gamma_{\mathfrak{z}_{i-1}}^{(c)} = \frac{m_i^{(s)}}{m_{c_i}} - 1; \quad m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\mathfrak{z}_i}^{(3)}}; \quad \gamma_{\mathfrak{z}_i}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}} - 1 \quad (w_0^{(s)} = w_1^{(3)};$$

$$w_i^{(c)} = N_i^{(c)}).$$

Здесь $w_i^{(s)}$ – мощность электроэнергии, потребляемой системой конвейерного транспорта на транспортирование горной массы на участке до $i+1$ бункера стволовой линии; $w_i^{(c)}$ – мощность электроэнергии, потребляемая i -м конвейером стволовой линии на транспортирование горной массы; $w_i^{(3)}$ – мощность электроэнергии, потребляемая i -м конвейером забойной линии на транспортирование горной массы; $\gamma_{\mathfrak{z}_i}^{(3)}$ – эквивалентный коэффициент аварийности i -ой забойной конвейерной линии; $N_i^{(c)}$ – мощность привода i -го конвейера стволовой конвейерной линии, идущая на транспортирование горной массы, кВт; m_{Q_i} – средняя производительность i -го забоя, т/мин.

Кроме того, $w_i^{(3)}$ для каждой забойной конвейерной линии определяется согласно рекуррентным соотношениям (7), полученным для последовательного соединения конвейеров и бункера.

На основании полученных рекуррентных соотношений для систем подземного конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры были получены средние значения пропускной способности, энергоемкости транспортирования, а также критерий эффективности по формулам (16)–(20) и (1).

В таблице 1 представлены исходные данные и результаты расчета указанных показателей для случая $m_{Q_i} < Q_{n_i}$. При этом в расчетах принимались стоимость 1 т угля $c_1 = 1200$ грн., стоимость 1 кВт электроэнергии $c_2 = 0,37$ грн.

Расчеты показали, что для системы подземного конвейерного транспорта древовидной структуры с бункерами, работающими в режиме поддержания заданного уровня груза в них, увеличение объемов бункеров стволового пути мало сказывается на величине коэффициента эффективности. При этом с уменьшением максимальных уровней грузов в бункерах забойных путей критерий эффективности системы конвейерного транспорта увеличивается.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета показателей эффективности системы конвейерного транспорта в случае управления бункерами ($n=5$; $k_i = 5$)

m_{Q_i} , т/мин	$Q_{n_i}^{(c)}$, т/мин	$Q_{n_{ij}}^{(3)}$, т/мин	$\gamma_i^{(c)}$	$\gamma_{ij}^{(3)}$	μ_i , 1/мин	$V_i^{(c)}$, м ³	$V_{2i}^{(c)}$, м ³	$V_{2ij}^{(3)}$, т/мин	$V_{ij}^{(3)}$, т/мин	m_c , т/мин	w_c , кВт	K , тыс. грн/ мин
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	500,0	100,0	100,0	20,0	17,2	868,7	1,3
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	500,0	100,0	100,0	20,0			
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	500,0	100,0	100,0	20,0			
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	500,0	100,0	100,0	20,0			
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	500,0	100,0	100,0	20,0			

Выводы. На основании метода динамики средних получен алгоритм определения средней пропускной способности и средней энергоемкости систем подземного конвейерного транспорта с бункерами, работающими в режиме поддержания заданного уровня груза в них. При этом учитывались простои конвейеров и бункеров, а также самоподобие структуры системы конвейерного транспорта.

Определен критерий эффективности функционирования системы подземного конвейерного транспорта при различных соотношении-

ях поступающих из лав грузопотоков и производительностей питателей бункеров.

При этом установлено, что критерий эффективности систем конвейерного транспорта с бункерами, работающими в режиме поддержания заданного уровня груза в них, больше на 15-30 %, чем критерий эффективности той же системы конвейерного транспорта с неуправляемыми бункерами.

Управляемыми параметрами, существенно влияющими на эффективность функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт, являются максимальные объемы уровней груза в бункерах и производительности питателей. При этом с уменьшением максимальных объемов уровней груза в бункерах критерий эффективности систем конвейерного транспорта увеличивается, а с увеличением производительностей питателей критерий эффективности сначала уменьшается, а затем увеличивается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирия Р. В. Адаптивное управление конвейерными линиями горных предприятий / Р. В. Кирия, В. Ф. Монастырский, В. Ю. Максютенко // Форум гірників-2011: Матеріали міжнарод. конф., 12-15 жовтня 2011 р. – Днепропетровск: Національний гірничий університет, 2011. – С. 87-95.
2. Кирия Р. В. Определение критерия эффективности функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия // Наукові вісті «Сучасні проблеми металургії». – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. – № 16. – С. 16-21.
3. Кирия Р. В. Математические модели функционирования систем конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2014. – Випуск 1. – С. 146-158.
4. Кирия Р. В. Математическая модель функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. – Дніпропетровськ: НметАУ. – 2012. – №15. – С. 85-96.
5. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
6. Шахмейстер, Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

Ю.А. Водолазский, Ю.О. Калиберда, А.И. Михалёв
**ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ОГРАНИЧЕННЫХ КОНТЕКСТОВ
И КОНТЕКСТНЫХ КАРТ**

Аннотация. В работе исследуются отдельные стороны ограниченных контекстов и алгоритмы построения контекстных карт для внедрения ключевых решений при разработке программного продукта. Предлагается методика, позволяющая контролировать сложность архитектуры приложения на основе ограниченных контекстов и контекстных карт. Ключевые слова: архитектура программного обеспечения, предметно-ориентированное проектирование, моделирование предметной области, шаблоны проектирования, методология проектирования, контекстные карты, синергия.

Введение. Существуют множество подходов для объектно-ориентированного моделирования программного обеспечения. Однако достаточно часто архитектура приложения, получающаяся в результате использования этих подходов, плохо поддаётся масштабированию при увеличении размера и сложности приложения. Контекстные карты, как техника общего назначения, являющаяся частью дизайн-инструментария из парадигмы предметно-ориентированного проектирования (DDD - Domain Driven Design) [1], помогает разработчикам справляться со сложностями создания программных продуктов. В отличие от других хорошо известных DDD шаблонов, создание контекстных карт применимо к любому сценарию разработки и представляет собою высокоуровневую абстракцию, которая помогает разработчикам принимать стратегически важные решения.

Кроме того, контекстная карта является превосходным инструментом, позволяющим визуализировать синергию ограниченных контекстов [2], составляющих архитектуру приложения.

Проектирование с учётом контекста. Предметно-ориентированное проектирование уделяет большое внимание поддер-

жанию концептуальной целостности модели разрабатываемого приложения. Это достигается за счет комбинации нескольких факторов:

- гибкий процесс, основанный на постоянной обратной связи от пользователей и экспертов в области разрабатываемого продукта;
- доступность экспертов предметной области и продуктивное сотрудничество с ними;
- единая разделяемая версия модели приложения (в приложении и тестовом коде), чётко сформулированная в терминах *всеобъемлющего языка* [3];
- открытая и прозрачная среда, которая способствует обучению и исследованию.

Всё это имеет решающее значение для создания благоприятной среды, в которой высококачественный дизайн приносит положительный эффект. При этом типичные элементы DDD, такие как сущности, значения и агрегаты создаются и добавляются к сложной доменной модели приложения по мере их выделения из предметной области. Как показано на рисунке 1, основное назначение всеобъемлющего языка в DDD - это обеспечение целостности модели. Использование одного набора терминов, с очень точным и однозначно определяемым смыслом, порождаемого в процессе обсуждений с экспертами предметной области и внедряемого на уровне кода, гарантирует, что все члены команды разделяют одинаковое понимание задачи и способы её реализации в программном продукте.

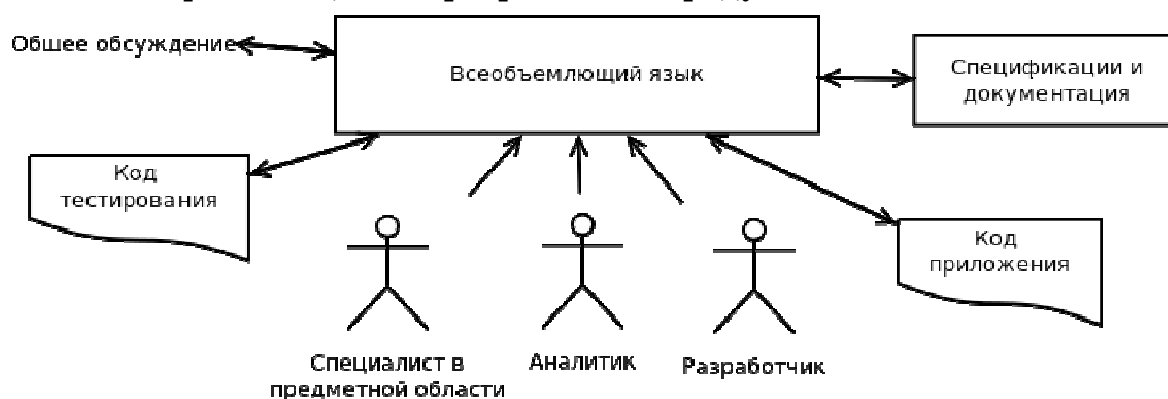


Рисунок 1 - Всеобъемлющий язык, как базисный язык описания модели предметной области

Введение в ограниченные контексты. В предметно ориентированном проектировании термин контекст формулируется как: "Набор

условий, при которых определяется значение какого-либо слова или выражения" [4].

Для каждой модели или семейства связанных моделей целесообразно выделять отдельные ограниченные контексты, в которых они существуют. Рассмотрим наиболее распространённые случаи, при которых введение ограниченных контекстов целесообразно и покажем, что это увеличивает масштабируемость проекта.

Случай 1: Один термин, разные значения

Наиболее распространённым является пример, в котором двусмысленность проявляется на уровне терминологии. Некоторые слова могут иметь разные значения в зависимости от контекста, в котором они используются.

Предположим, что мы разрабатываем приложение по управлению личными финансами с web-интерфейсом. Это приложение может использоваться для управления банковскими счетами, акциями, сбережениями, для контроля за бюджетом и расходами и т.д.

В нашем приложении термин *account* может означать разные концепции. В контексте банковских операций этот термин означает виртуальное "хранилище денег". В этом случае стоит ожидать, что соответствующий класс в коде программы должен иметь такие атрибуты, как баланс, номер счёта, и т.д. Но, в контексте web-приложения, термин *account* имеет совершенно другой смысл, связанный с аутентификацией и пользовательскими данными. Соответствующая модель, показанная на рисунке 2, будет полностью отличаться от предыдущей.

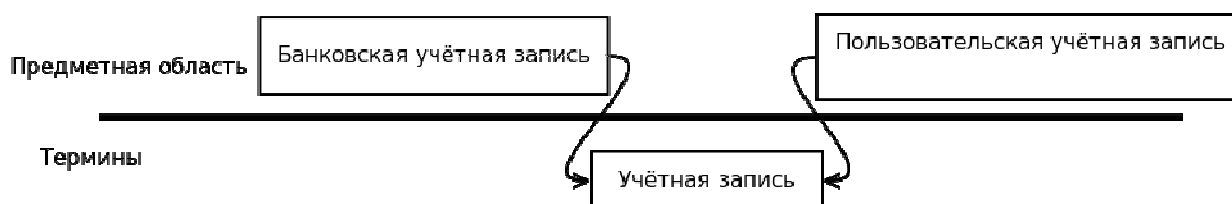


Рисунок 2 - Пример неоднозначности: термин учётная запись (*account*) может иметь разные значения в зависимости от контекста, в котором он используется

Данная проблема обычно решается путем разделения пространства имен или добавления префикса к имени класса (который может быть частью имени пакета). К сожалению, работа на уровне имён

классов - это не всегда лучшее решение: в области банковских услуг, термин *Banking Account* может обозначать другую концепцию. Однако самая большая ошибка в попытке использовать другой термин будет заключаться в том, что мы хотим изменить всеобъемлющий язык (словарь, описывающий систему), для разрешения архитектурных трудностей, которых изначально нет в предметной области. Поэтому необходимо сохранить одинаковые названия для моделей, но поместить их в разные контексты. Изобразим это на контекстной карте.

В случае, когда двусмысленность становится проблемой, необходимо иметь инструмент, с помощью которого команда разработчиков могла бы работать с двумя различными контекстами в пределах одного приложения. Неоднозначность всеобъемлющего языка - это наибольшая проблема, от которой необходимо избавляться. Лучший способ сделать это заключается в изображении структуры предметной области в терминах ограниченных контекстов на контекстной карте. Рисунок 3 показывает простую контекстную карту.

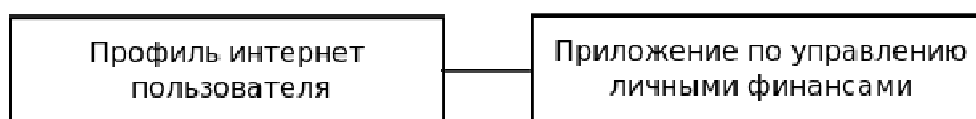


Рисунок 3 - Контекстная карта с двумя контекстами предметной области

В DDD [1], контекстная карта описывается как основной инструмент, использующийся для того, чтобы сделать границы контекстов явными. Нужно попытаться нарисовать границы контекстов на доске, желательно заполнив их соответствующими именами классов или терминами предметной области. К сожалению, такая диаграмма является не вполне корректной с точки зрения стандартов UML. В то же время, это есть рабочий инструмент, позволяющий внести определенность в нечёткую ситуацию.

Случай 2: Проблема: одна концепция, различное использование

Более запутанное разделение может возникнуть, когда концепция, лежащая в основе, одинаковая, но используется по-разному, что в конечном итоге приводит к разным моделям. Моделью банковской учётной записи может служить класс *Banking Account*, как показано на рисунке 4.

Как известно некоторые приложения по управлению личными финансами позволяют также управлять платежами, обычно сохраняя список получателей платежей (*Payee Registry*). При таком сценарии, получатель может быть связан с одним или более банковскими счётами, но в данном случае мы ничего не знаем, ни о "внутренностях" банковского счёта получателя, ни о том, можем ли мы совершать какие-либо операции с этим счетом. Ставится вопрос: "Стоит ли моделировать банковский счёт получателя, используя уже существующий класс *Banking Account*, разработанный выше?"

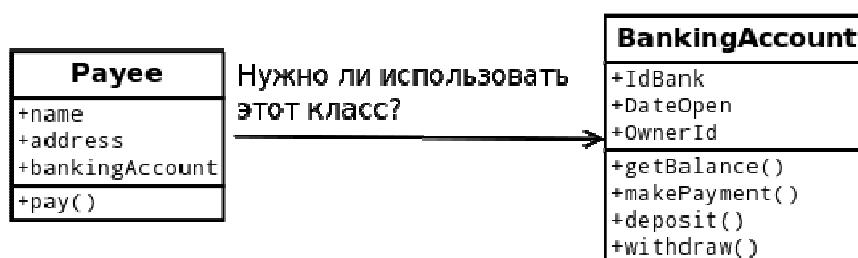


Рисунок 4 - Классы *Payee* и *Bank Account*

Итак, имеем, в конце концов, что это, одна и та же концепция. В реальном мире банковский счёт и счёт получателя могут быть в одном и том же банке. Однако, эта концепция ещё не совсем правильная: нельзя иметь возможность совершать какие-либо действия на банковском счёте получателя, или отслеживать изменение баланса этого счёта (хотя можно совершать эти операции на личном банковском счёте). Даже хуже: делая так, вероятно допускается концептуальная ошибка в архитектуре нашего приложения.

Опять возникает проблема с двумя различными контекстами в одном приложении. Поэтому правильным решением будет создать новый класс и поместить его в отдельный контекст. Класс *BankingAccount* может по-прежнему предоставлять возможность выполнять (или отслеживать) определённые операции, такие как взнос или обналичивание средств, в то время как отдельный класс *Payee Account*, содержащий некоторые общие данные с классом *Banking Account* (например, *account Number*), но в целом имеющий более простую модель данных и совершенно другое поведение (например, у нас нет доступа к балансу получателя платежа). Рисунок 5 иллюстрирует использование банковского счёта двумя различными способами в

приложении, несмотря на общее значение и единую концепцию, лежащую в основе этого понятия.

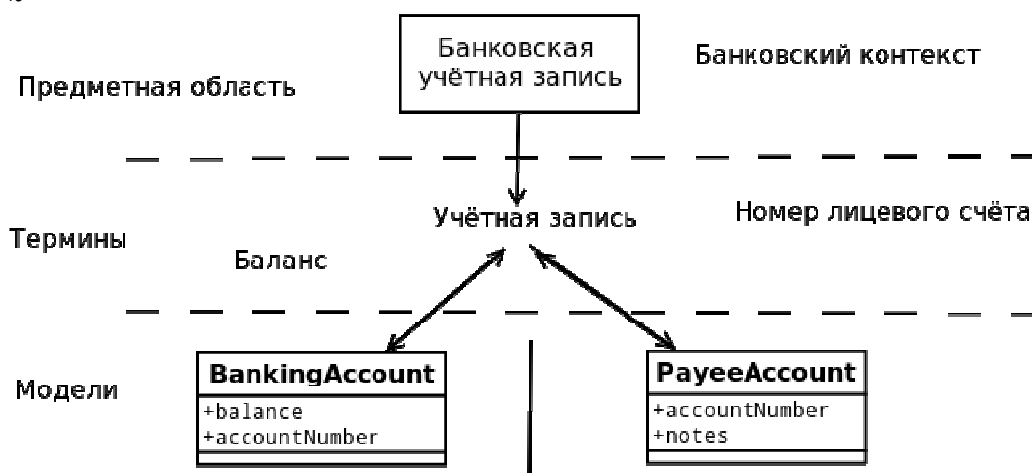


Рисунок 5 - Классы для банковского счёта и счёта получателя

Контекстная карта, иллюстрирующая вышеприведённый пример, может выглядеть, как показано на рисунке 6. В данном случае проведено разбиение контекста приложения по управлению личными финансами на два других: банковские операции и отслеживание расходов.

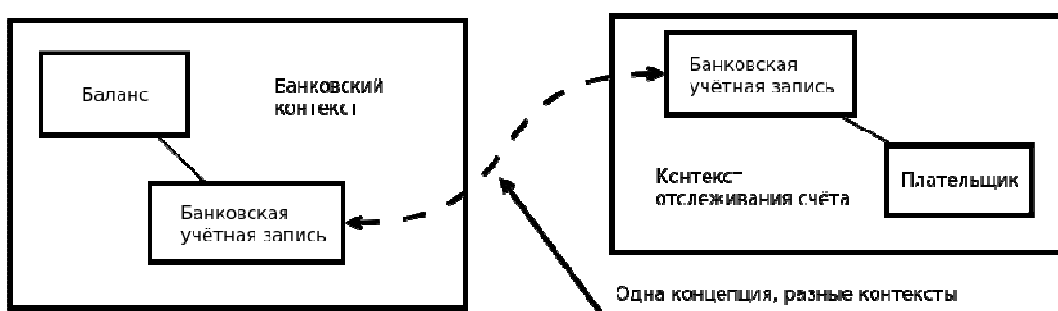


Рисунок 6 - Упрощённая контекстная карта: контуры вокруг частей модели предметной области показывают области, где концептуальная целостность сохраняется

Как результат, - концепция банковского счёта используется разными способами в разных частях приложения, подразумевая архитектуру, состоящую из двух моделей. Однако, эти две модели возможно достаточно близко пересекаются. Кроме сохранения концептуальной целостности модели в границах контекста, контекстная карта помогает сосредоточиться на том, что происходит между различными контекстами.

Случай 3: Взаимодействие с внешними системами

Вернёмся к рассмотрению приложения для управления личными финансами. Множество реализаций таких приложений позволяют совершать тот или иной обмен данных между интернет-сервисами финансовых учреждений. В некоторых случаях, банки предоставляют доступ реального времени к банковским сервисам, в других случаях они просто позволяют клиенту скачать выписки в стандартных форматах. Рисунок 7 показывает взаимодействие рассматриваемой системы с банковским сервисом.

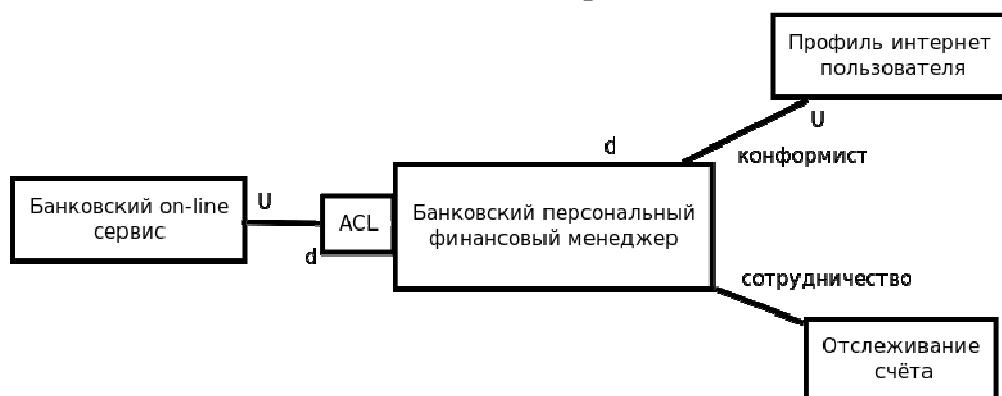


Рисунок 7 - Предохранительный уровень (ACL) на границе приложения по управлению финансами, предотвращающий прямое воздействие банковского сервиса внутрь ограниченного контекста. Показано направление взаимосвязи между контекстами (верхний(u)-нижний(d))

Даже если эти две модели разработаны, чтобы представлять одни и те же данные (по крайней мере, на данном уровне детализации), они будут развиваться по-разному с течением времени и будут служить разным целям. Поэтому разделение ограниченных контекстов необходимо. Случай 1 так же попадает в эту категорию, если профиль пользователя моделируется с использованием сторонней библиотеки.

В случае, когда приложение охватывает несколько контекстов, необходимо обеспечивать их синергию. При этом наиболее важный аспект разработки, о котором стоит позаботиться, - это обеспечение направления связей между контекстами. Известно, что DDD использует термины верхний (upstream) и нижний (downstream) контексты. Верхний контекст влияет на нижнего коллегу, тогда как обратное - неверно. Это влияет как на организацию кода (библиотеки, использующие другие библиотеки), так и на менее технические аспекты, та-

кие как порядок работы или последовательность исправления ошибок, или добавления изменений. В нашем примере существует внешняя система, которая очевидно не будет меняться по нашему запросу, в то время как приложение по управлению финансами может измениться быстро, в случае, если банковская система изменит свой API по каким-либо причинам. Рисунок 7 иллюстрирует также связи между двумя контекстами предметной области.

Возможно принятие запроса на изменение способа взаимодействия с внешней системой по внешнему запросу, но, скорее всего, потребуется некая защита от изменений, приходящих от вышестоящего контекста, так же как необходимо будет сохранить концептуальную целостность банковского контекста. DDD описывает несколько организационных шаблонов, которые помогают описывать и/или управлять способами взаимодействий (синергий) между контекстами. При этом, наиболее приемлемый - это шаблон предохранительный уровень (*Anti-Corruption Layer, ACL*) [5], который также показан на рисунке 7. Данный слой выполняет преобразования на уровне кода между контекстами или, что даже лучше, на внешней границе банковского контекста.

В свою очередь, вызывать другой контекст свойственно не только лишь внешним системам. Классическим примером изолированного контекста является устаревший модуль или компонент, который часто содержит модель, плохо поддающуюся изменениям.

В свете наличия других связей на контекстной карте поднимается вопрос: “Существует ли возможность определить их в терминах связующих шаблонов DDD?” Как только мы предполагаем, что разработка происходит в пределах одной команды, шаблоны становятся не так важны. Однако, если банковский контекст и контекст по управлению за расходами поддерживаются различными командами, то взаимодействие между этими командами должно быть хорошо налажено, т.к. они обе стремятся к одной и той же цели. В данном случае стоит использовать шаблон сотрудничество (*Partnership*). В этом случае, если реализация пользовательского профиля выполнена с использованием стороннего модуля, то вероятно будет использоваться этот модуль “как есть”, подразумевая, что наш контекст является нижним, по отношению к контексту стороннего модуля. Для описа-

ния такого взаимодействия больше всего подходит шаблон конформист (*Conformist*) [5] (шаблоны также показаны на рисунке 7).

Случай 4: Проблема при расширении организации

На данный момент рассмотрен простой сценарий с одной командой разработчиков. Это позволило игнорировать стоимость взаимодействия, предполагая (возможно оптимистически), что каждый разработчик заботится о том, что происходит с моделью. В свою очередь, более сложный сценарий может включать воздействие следующих факторов:

- сложность предметной области, требующей наличия многих экспертов из этой области;
- сложность организации труда;
- растянутый во времени проект;
- очень большой проект (по количеству людей и времени);
- множество внешних составляющих или кода, доставшегося в наследство;
- большой размер команды или команда, состоящая из разработчиков разного уровня;
- распределённая или удалённая команда;
- человеческий фактор.

Каждый из этих факторов влияет на взаимодействие внутри команды и организационные процессы в целом, что в конечном итоге сказывается на разрабатываемом продукте.

Предположим, что наше приложение по управлению финансами выросло. Другая команда (команда Б) начала работать вместе с нами (командой А) над новым торговым модулем того же приложения. Команда Б может находиться в другой комнате, стране или даже компании, которая пишет код для в сфере торговли. В примере ниже команда А работает над кодом совместно с командой Б, даже, если они стремятся работать над различными участками кода. Со временем команда Б может написать некий класс (рисунок 8), который будет реализовывать функциональность необходимую команде Б, которая уже реализована командой А.

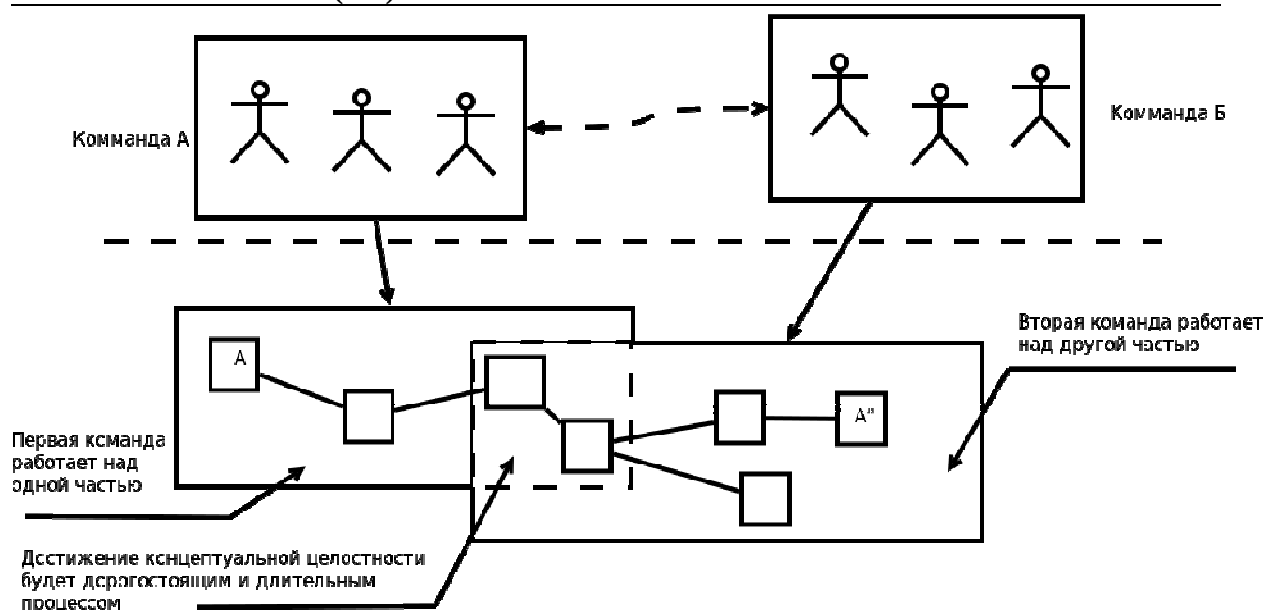


Рисунок 8 - Схема сценария, где разные команды работают над одним кодом, могут быть различные точки зрения на отдельные части модели. Физическое удаление команд будет влиять на качество обмена информацией между ними

Так появляется дублирование кода - корень зла. Для небольшого, чётко определённого, ограниченного контекста это утверждение справедливо. Однако по некоторым причинам это свойственно некоторым не тривиальным проектам. Это является знаком, что возможно существует не совсем хорошо изолированный контекст. Иногда более эффективно иметь два изолированных контекста для структурирования модели предметной области, чем постоянно поддерживать целостный и непротиворечивый взгляд на модель среди участников двух команд.



Рисунок 9 - Модель торгового контекста, требующая дальнейшего исследования

Восклицательный знак на схеме означает, что там что-то не так: эти два контекста частично перекрываются и их отношения не ясны. Вероятно, - это одна из первых областей, в которой нужно искать решение: пытаться создать согласованные и устойчивые отношения в контексте, такие как, клиент-поставщик (*Customer-Supplier*), непрерывная интеграция (*Continitous Integration*) или разделяемое ядро (*Shared Kernel*) [6]. В то же время, это является дальнейшей задачей, поскольку контекстная карта является инструментом для решения текущих задач, и для рассмотренного примера с торговым модулем вопрос разделения остается открытым, поэтому восклицательный знак присутствует на схеме.

Шаблоны стратегий в DDD

Существует небольшие нюансы использования шаблонов проектирования в предметно-ориентированном проектировании [6]. Используемый повсеместно принцип - доказанное решение для повторяющейся проблемы - предоставляет мало вариантов, из которых можно выбрать. Чаще всего, организационная структура навязывает модели и наша единственная надежда распознать их прежде чем ситуация станет безвыходной. Иногда есть шанс выбрать лучший вариант, или исправить существующую ситуацию, но мы должны знать, что изменения на организационном уровне могут потребовать больше времени, чем предусмотрено на выполнение проекта, или они могут быть просто за пределами наших возможностей.

В свою очередь, если есть сомнения с чего начать, нужно начинать с команды разработчиков. Команда - это, де-факто, наибольший организационный модуль, который может успешно создавать знания о системе. Контексты, будучи единожды распознаны командой, могут ею же и прорабатываться, до создания наиболее предпочтительного архитектурного решения.

С другой стороны, каждый шаблон имеет разную стоимость внедрения. Даже если два шаблона решают одинаковую проблему, например, связывание контекстов, они не могут быть легко заменены друг другом. Например, шаблон ACL (предохранительный уровень) сильно влияет на код приложения (вносит дополнительный слой) и почти не влияет на организацию работы команды, в то время как, шаблон *Partnership* (сотрудничество) или *Customer-Supplier* (заказчик-поставщик) вероятно потребует меньше изменений на уровне кода.

Однако он не будет работать без эффективного канала взаимодействия и хорошо поставленных процессов разработки. Попытка использовать шаблон *Partnership* вне хорошо организованной среды взаимодействия - это тупиковый путь.

Выводы

Проанализированы типичные ситуации, встречающиеся в процессе разработки программного обеспечения, при которых возникает неоднозначность в создаваемых моделях предметной области:

- неоднозначность терминологии;
- различное использование одной и той же концепции;
- интеграция с внешней системой или неподдерживаемым более модулем;
- расширение команды разработчиков.

Для каждого случая предложен способ разрешения неоднозначности с использованием ограниченных контекстов, контекстных карт и применением подходящего шаблона проектирования. Анализ носит качественный характер, учитывая особенность исследуемой предметной области. Результатом анализа является методика использования ограниченных контекстов и контекстных карт на этапе проектирования программного обеспечения.

Несмотря на естественное желание единообразия, создаваемые модели не могут иметь очень широкую сферу применения. Ограниченные контексты предоставляют хорошо определённую и безопасную среду, позволяющую моделям совершенствовать сложность, не жертвуя концептуальной целостностью.

Выявлено что, побочным эффектом применения в больших проектах является то, что контекстная карта, созданная на начальном процессе разработки, показывает неявные границы, существующие в пределах организации, и является ярким естественным снимком уровня, к которому будет стремиться проект. Хорошая контекстная карта даёт представление о факторах, действующих против команды разработчиков, которая может узнать будет ли предполагаемая форма организации труда содействовать или препятствовать этому проекту, даже до его фактического начала.

Таким образом, как выяснилось, разбиение на контексты чрезвычайно полезно для быстрого осознания ключевых деталей предметной области проекта и является хорошим инструментом для приня-

тия стратегических решений (что собственно и является назначением любой карты). В результате того, что контекстная карта является инструментом визуализации синергии компонентов разрабатываемой системы, она предоставляет всеобъемлющий взгляд на систему, который диаграммой UML не отражается. Как следствие, контекстная карта позволяет сконцентрироваться на принятии действительно жизнеспособных решений, избавляя от неэффективных сценариев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eric Evans. Domain-driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software. - Addison-Wesley Professional, 2004.
2. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику: Учебное руководство. - М.:Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990.
3. Vaughn Vernon. Implementing Domain-Driven Design. - Addison-Wesley Professional, 2013.
4. Floyd Marinescu, Abel Avram. Domain-Driven Design Quickly. - LULU Press, 2007.
5. Jimmy Nilsson. Applying domain-driven design and patterns: with examples in C# and .NET. - Addison-Wesley, 2006.
6. Marting Fowler. Patterns of Enterprise Application Architecture. - Addison-Wesley Professional, 2002.
7. Scott Millett. Professional Domain Driven Design Patterns. - Wiley, 2014.

УДК 528.71

В.В. Гнатушенко, Л.С. Загородня, В.Ю. Шевченко, В.С. Хімель
**КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ
ІНФОРМАТИВНОСТІ СКАНЕРНИХ ДАНИХ ДЗЗ**

Анотація. У роботі запропоновано нову технологію підвищення інформативності сканерних зображень на основі використання ІСА-, вейвлет-перетворень та використання попередньої еквалізації. Тестування даного алгоритму підтвердило його високу ефективність при обробці цифрових зображень, отриманих сучасними аерокосмічними системами.

Ключові слова: сканерне зображення, ІСА, вейвлет-перетворення, еквалізація, інформативність, злиття.

Постановка проблеми

Впроваджувані в зростаючому обсязі в дистанційне зондування сканерні методи мають суттєві переваги перед аерокосмічної фотозйомкою. У той час як спектральний діапазон зйомок фотографічними способами обмежений видимим і ближнім інфрачервоним випромінюванням (0,4-0,9 мкм), сканерні методи передбачають зйомку в широкому діапазоні спектра сонячного випромінювання — від ультрафіолетового до теплового інфрачервоного (0,3-14 мкм). Сучасні супутникові системи отримують знімки з високою оперативністю, щоденною періодичністю і регулярним потоком даних, що відкриває нові можливості для удосконалення існуючих методів та алгоритмів обробки космічних знімків. Актуальною областю сучасних наукових досліджень є синергетична обробка (злиття) таких даних декількох каналів з метою одержання штучного зображення із покращеними показниками інформативності у порівнянні із первинними знімками та їх подальший аналіз.

Аналіз останніх досліджень

На даний час існують різні методи об'єднання фотограмметричних зображень, що дозволяють підвищити інформативність мульти-спектральних знімків: засновані на перетвореннях HIS, PCA, Wavelet, Color Normalized (Brovey), ICA, Gram-Schmidt та ін. [1-4]. Разом з тим, використання окремо зазначених алгоритмів як правило

призводить до кольорових спотворень та появи затінених ділянок знімка.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Таким чином, виникає необхідність розробки технології комплексування багатоканальних даних для отримання синтезованого зображення з поліпшеними характеристиками дешифрування (інформативності) і з відсутністю кольорових спотворень на одержуваному знімку.

Основна частина

Запропонована технологія синтезує кілька етапів перетворень первинних мультиспектрального і панхроматичного зображень. Схема нової технології комплексування цифрових багатоканальних зображень представлена на рис. 1.

Характерною рисою більшості фотограмметричних зображень є значна питома вага темних ділянок і порівняно мале число ділянок з високою яскравістю. Тому першим етапом пропонується провести еквалізацію мультиспектрального і панхромного зображень, за допомогою якої коригуються початкові зображення. Далі створюються повнокольорові зображення, значення пікселів яких представлені в кольоровій системі HSV (hue - колірний тон, saturation - насиченість, volume - яскравість) HSVmul, HSVpan [2]. Одним з найбільш перспективних і потужних математичних апаратів для злиття аерокосмічних зображень є вейвлет-перетворення. До яскравісної компоненти V застосовується вейвлет-перетворення, схема якого представлена на рис. 2. Застосування вейвлетів відрізняється утворюючими вейвлет-базисами та різними принципами відносно вибору правил об'єднання деталізуючих (низькочастотних) складових. У роботі використовується дискретне вейвлет-перетворення Добеши. Після вейвлет-обробки здійснюється зворотне перетворення зображення до кольорового простору RGB.

Наступним кроком для визначення статистично-незалежних ознак об'єктів, виділення і відображення їх спектрального контрасту є використання аналізу незалежних компонент (ICA). Завдання ICA формулюється як задача пошуку такої проекції вектора y на лінійний простір векторів x , компоненти, якої були б статистично незалежні. При цьому для аналізу доступна тільки деяка статистична вибірка значень випадкового вектора y . В алгоритмі нами пропонується замі-

на після ІСА першої компоненти MUL-зображення компонентою панхроматичного зображення. Наступним етапом після заміни є зворотне перетворення ІСА.

Запропонована технологія підвищення інформативності фотографічних видових даних була реалізована на первинних багатоспектральних восьмиканальних знімках, отриманих супутником WorldView-2 (рисунок 3). Первинне мультиспектральне зображення було сформовано 5, 3 та 2 каналами, які було обрано як канали R,G,B відповідно. На рисунку 3 представлені зображення: первинні панхромне (рис.3а) і мультиспектральне (рис.3б) та синтезоване зображення після обробки за технологією, запропонованою у роботі (рис.3в).

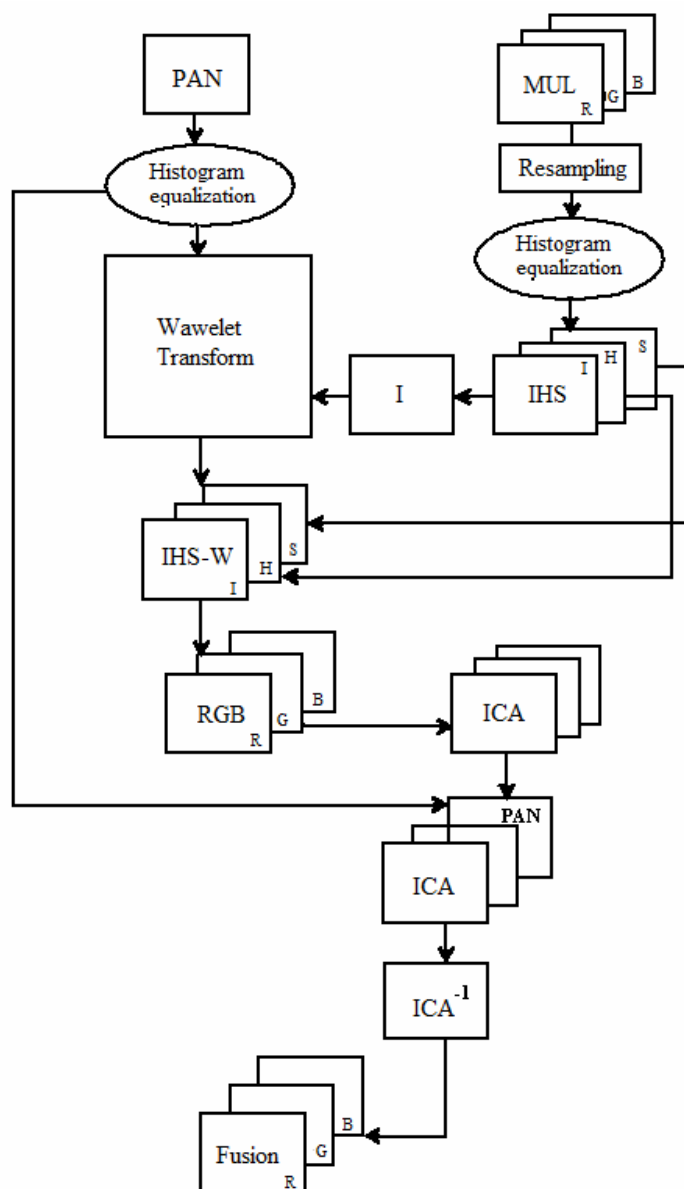


Рисунок 1 - Схема технології комплексування зображень

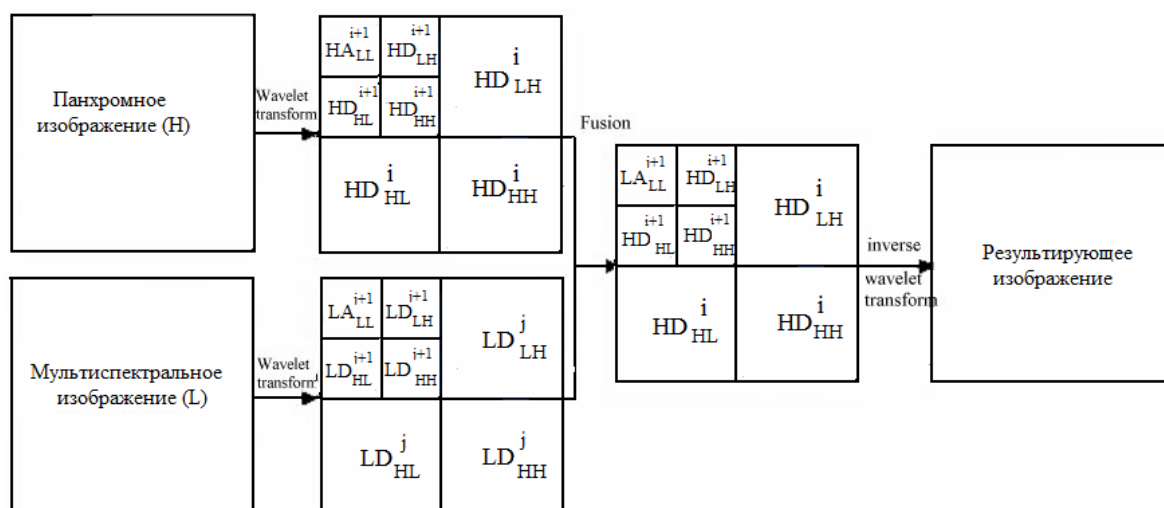


Рисунок 2 - Этап вейвлет-преобразования

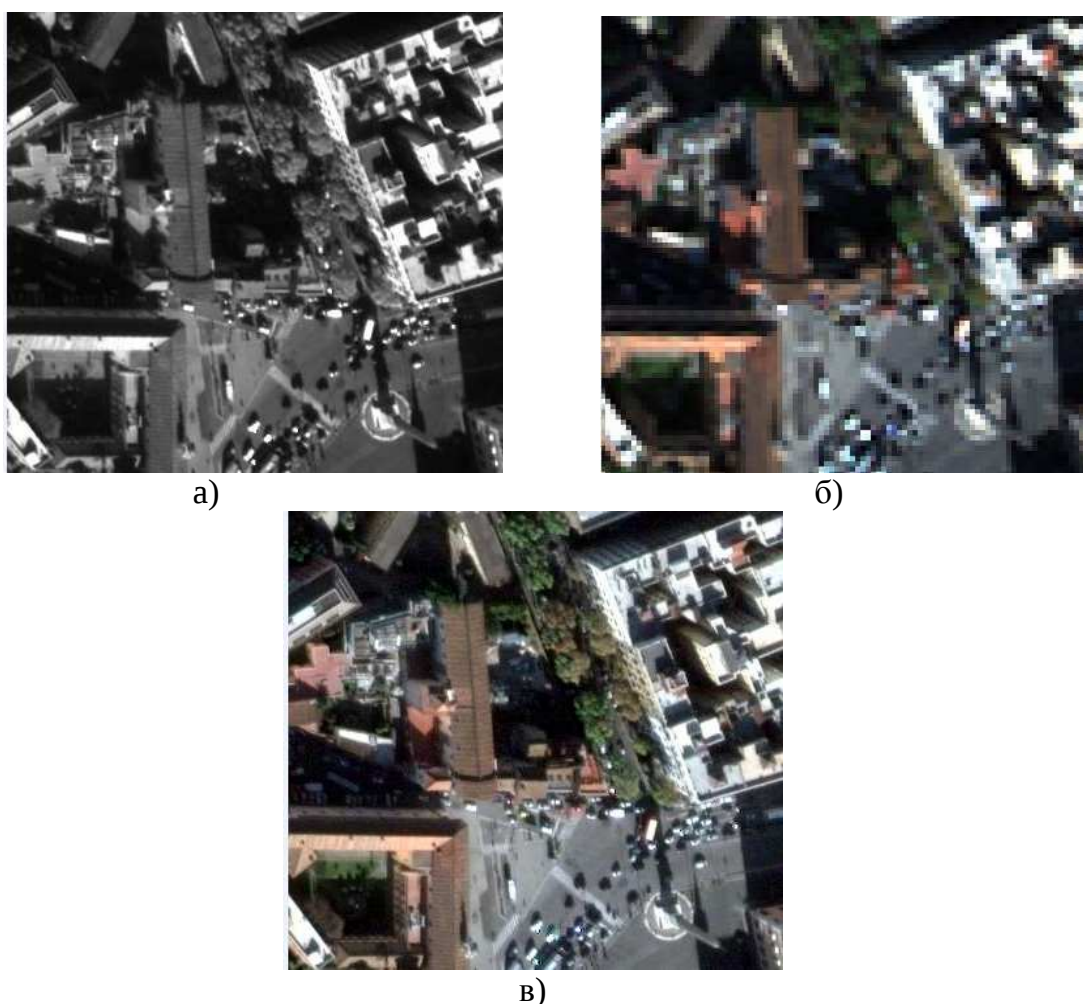


Рисунок 3 - Пример зображень:

а) первинне панхромне, б) первинне мультиспектральне, в) синтезоване, після обробки запропонованим алгоритмом

Важливу роль у цифровій обробці зображень відіграє оцінка їх якості. В якості міри інформативності зображень часто використовується поняття інформаційної ентропії Шеннона, яка встановлює середню кількість інформації на піксель зображення. Для напівтонового зображення A з щільністю ймовірності яскравості пікселя $p(A)$ і інтервалом можливих значень яскравості $[0, 255]$, ентропія розраховується наступним чином:

$$E(A) = - \sum_{k=0}^{255} p_k(A) \cdot \log_2[p_k(A)] \quad (1)$$

Часто в якості оцінки також використовується коефіцієнт кореляції, який відображає кореляцію між вихідним мультиспектральним і синтезованим зображеннями. Чим вища кореляція між зазначеними зображеннями, тим краща оцінка спектральних значень. Ідеальне значення коефіцієнта кореляції дорівнює 1. Для двох цифрових зображень, A і B використовується наступний вираз:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \overline{A_{i,j}} \cdot \overline{B_{i,j}} - (\overline{A}) \cdot \overline{B}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \overline{A_{i,j}}^2 - (\overline{A})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \overline{B_{i,j}}^2 - (\overline{B})^2}} \quad (2)$$

де $\overline{A}, \overline{B}$ — середні значення відповідних наборів даних;
 N, M — розміри зображень.

Отримані кількісні оцінки якості синтезованого зображення, в порівнянні з вихідними даними, представлені у таблиці 1. В таблиці вказані розраховані значення ентропії (1) для вихідних мультиспектрального і панхромного зображень, а також для синтезованого зображення за запропонованою технологією обробки (розмір зображень 1000*1001 пікселів).

Таблиця 1

Зображення	Значення ентропії
Панхроматичне (Pan)	7.3535
Мультиспектральне (Mul)	7.4022
Зображення за запропонованим алгоритмом	7.5118

У таблиці 2 наведені значення коефіцієнта кореляції (2) для синтезованих мультиспектральних зображень, отриманих окремо відомими методами злиття (ICA, HSV, Wavelet) і запропонованим у роботі методом. Аналіз результатів свідчить про те, що синтезоване зображення з максимальною деталізацією (інформативністю) досягається при комплексуванні за запропонованою технологією з попередньою еквалізацією вихідних зображень.

Таблиця 2

Метод	Значення коефіцієнта кореляції		
	R	G	B
ICA	0.951	0.942	0.911
HSV	0.968	0.964	0.967
Wavelet	0.953	0.965	0.964
Запропонований (Fusion)	0.982	0.970	0.973

Висновки та перспективи подальших досліджень

Отримані характеристики свідчать про те, що у результаті обробки багатоканальних знімків за допомогою технології підвищення інформативності видових даних дистанційного зондування Землі на основі Equalisation-HSV-вейвлет-ICA-перетворень синтезовані зображення мають більш високу якість та збільшену інформативність у порівнянні з первинними знімками. Подальші дослідження будуть присвячені удосконаленню запропонованої технології при обробці багатоканальних цифрових зображень із залученням інформації, отриманої в інфрачервоному діапазоні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Часть 1 - М.: Техносфера, 2010. - 560 с.
2. Hnatushenko V. Computer technology more informative multispectral images of the earth surface / V. Hnatushenko, A. Safarov // Applied Geometry and Engineering Graphics. - К.: KNUBA, 2012. - Vol. 89. - С. 140-144.
3. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов : Пер. с англ. - М.: Мир, 2005. - 671с., ил.
4. Pohl C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Pohl, J.L. Van Genderen // International journal of remote sensing. - 1998. - Vol. 19. - No. 5. - P. 823-854.

СОДЕРЖАНИЕ

Хандецкий В.С., Хандецкий П.В. Вплив навантаження каналів на маршрутизацію за алгоритмом дифузного оновлення.....	3
Ivon A.I., Ivon Y.A., Lavrov R.I. Application of bitmaps for increasing data processing accuracy in physical experiment	10
Ахметшина Л.Г., Егоров А.А. Автоматическая оценка яркости и контраста при определении качества изображения	17
Литвинов А.А., Грузин Д.Л., Вязиков А.С. Оптимизация процесса разработки многослойных программных приложений	29
Ивон А.И., Истужкин В.Ф. Частота модуляции тактового сигнала при использовании режима троттлинга для защиты процессора от перегрева	36
Пономарев И.В. Исследование методов оптимизации web-сайтов на базе CMS Drupal	42
Литвинов А.А., Полухин Г.В., Истомина В.В. Оценка и обнаружение медицинских стандартов клиники хирургического профиля	48
Сівцов Д.П., Хандецкий В.С., Григор'єв В.М. Оцінка висоти елементів рельєфу металевих поверхонь з застосуванням цифрового оптичного сканування	54
Твердоступ Н.И. Генератор гармонических колебаний на основе комбинированной операционной схемы	64
Герасимов В.В. Спектральна ідентифікація модуляційних імпульсів різних амплітуд в дефектоскопії композитних матеріалів	69
Рыбка Ю.М. Матричный алгоритм нахождения простых импликант булевых функций.....	75
Матвеева Н.А. Использование искусственных нейронных сетей для решения задач классификации в дефектоскопии.....	79
Григорьев В.М. Детектируемость линейных нестационарных многосвязных систем автоматического управления.....	87

Крохин В.В., Кузьменко Н.О. Ускорение вычислений с помощью Матлаб путем распараллеливания	92
Мартинovich Л.Я., Лазоренко Ю.В. Використання штучних нейронних мереж для дослідження електромагнітних полів вуглецевих композитів	98
Карпенко Н.В. Моделювання структури твердих розчинів заевтектичних фаз на основі заліза	103
Дробахин О.О., Короткая В.Г., Шерстюк Г.Г. Экспериментальная оценка разрешающей способности многочастотных радиолокационных изображений при обратном синтезировании апертуры в промежуточной зоне излучения	108
Иващенко В.П., Тимошкин А.И. О необходимых и достаточных условиях существования проверяющего теста длины 2 для асинхронных автоматов Мура....	115
Пошивалов В.П., Даниев Ю.Ф., Резниченко Л.В. Общие принципы обеспечения надёжности эргатических систем ...	121
Кадильникова Т.М., Сіліна Н.О., Шинковська І.Л., Заєць І.П. Загальні закономірності застосування вібрації при класифікації сировини для металургійного виробництва	128
Кирия Р.В., Мищенко Т.Ф., Бабенко Ю.В. Определение критерия эффективности системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт в режиме поддержания заданного уровня груза в аккумулирующих бункерах	135
Водолазский Ю.А., Калиберда Ю.О., Михалёв А.И. Предметно-ориентированное проектирование приложений с использованием ограниченных контекстов и контекстных карт.....	146
Гнатушенко В.В., Загородня Л.С., Шевченко В.Ю., Хімель В.С. Комп'ютерна технологія підвищення інформативності сканерних даних ДЗЗ	159

РЕФЕРАТЫ

УДК 681.3.07

Хандецкий В.С., Хандецкий П.В. **Влияние нагрузки каналов на маршрутизацию по алгоритму диффузного обновления** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – 1(90). – Днепропетровск, 2014. – С. 3 – 9.

Определены функции влияния нагрузки каналов на метрику маршрута при условии независимости кумулятивной задержки вдоль маршрута от его нагрузки, и при условии, что задержка линейно зависит от нагрузки.

УДК 004.92+519.674

Ивон А.И., Ивон Ю.А., Лавров Р.И. **Использование растровых изображений для повышения точности обработки данных физического эксперимента** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – 1 (90). – Днепропетровск, 2014. – С.10-16.

Исследована возможность использования растровых изображений, полученных с помощью цифровых фотокамер, для повышения точности измерений. Показано, что обработка таких изображений в графических редакторах позволяет определять размеры планарных объектов с абсолютной ошибкой не более ± 31 мкм. Относительная погрешность определения напряжений по растровым изображениям аналоговых осциллограмм не превышает $\pm 1,5\%$.

Библ. 2, илл. 3.

УДК 004-93

Ахметшина Л.Г., Єгоров А.О. **Автоматична оцінка яскравості та контрасту при визначенні якості зображення** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1 (90). – Дніпропетровськ, 2014. – С. 17-28.

Розглянуто новий підхід при автоматичному визначенні оцінок рівня яскравості та контрасту, які дозволяють підвищити достовірність контролю їх зміни в процесі обробки зображень. Запропоновані характеристики можуть бути використані в автоматичному та автоматизованому режимах роботи.

Бібл. 5, іл. 6, табл. 2.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Грузін Д.Л., Вякілов А.С. **Оптимізація процесу розробки багаторівневих програмних додатків** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1(90). – Дніпропетровськ, 2014. – С. 29-35.

В роботі розглянуто варіант застосування модельно-орієнтованого підходу спрямований на спрощення побудови та супроводження інформаційної системи. Розглянуто особливості фреймової моделі, генерації ряду компонентів, інтерпретація моделі, вирішення питань пов'язаних з конфігурацією системи.

Бібл. 13. іл.3.

УДК 004.318+536.37

Ивон О.І., Істушкін В.Ф. **Частота модуляції тактового сигналу при використанні режиму троттлінгу для захисту процесора від перегріву** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1 (90) – Дніпропетровськ, 2014. – С.36-41.

Виконано розрахунок частоти модуляції f_m тактового сигналу процесора при використанні критичного терморезистора на основі VO_2 для реалізації режиму троттлінгу. Показано, що f_m лінійно збільшується із зростанням середньої витрати енергії на виконання машинної команди та лінійно зменшується із зростанням температури оточуючого середовища Q , коли $Q < T_t - \delta_t/2$. Частота модуляції наближається до нуля коли Q наближається до температури фазового переходу метал-напівпровідник $T_t = 68^\circ\text{C}$ у VO_2 .

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 621.3

Пономарьов І.В. **Дослідження методів оптимізації web-сайтів на базі CMS DRUPAL** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1(90). – Дніпропетровськ, 2014. – С.42-47.

Досліджуються методи раціонального використання апаратних ресурсів шляхом впровадження додаткових програмних засобів і модулів, модифікацією існуючого програмного коду сайту. Оптимізація сайту дозволяє поліпшити якість інформаційно-обчислювального середовища: продуктивність, необхідний обсяг оперативної пам'яті, час відповіді сервера, час завантаження сторінок.

Бібл. 2.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Полухін Г.В., Істоміна В.В. **Оцінка та виявлення стандартів клініки хірургічного профілю** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1(90). – Дніпропетровськ, 2014. – С.48-53.

В роботі розглянуто алгоритм оцінювання існуючих та винаходження нових стандартів шляхом еволюційного дослідження існуючих стандартів з використанням додаткових параметрів. 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. іл.1.

УДК 621.3.068(03)

Сивцов Д.П., Ханецкий В.С., Григорьев В.М. **Оценка высоты элементов рельефа металлических поверхностей с применением цифрового оптического сканирования** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – 1 (90). – Днепропетровск , 2014 . - С.54-63.

Изложены теоретические и практические результаты исследования метода измерения высоты элементов рельефа поверхностей металлических деталей солнечных батарей с использованием планшетного сканера. Проведена цифровая обработка полученных изображений. Приведенные экспериментальные зависимости, полученные на реальных образцах деталей. Работа имеет практическое значение.

Библ. 3, рис. 5.

УДК 621.373-187.4

Твердоступ М.І. **Генератор гармонійних коливань на основі комбінованої операційної схеми** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1(90). – Дніпропетровськ, 2014. – С. 64-68.

Визначено умови реалізації низькочастотного (0,5–10 кГц) гармонійного автогенератора з плавною перестройкою частоти на основі комбінованої операційної схеми, яка забезпечує помноження індуктивного імпедансу резонансного контуру, що дозволяє використати котушки з малою індуктивністю.

Бібл. 6, іл. 2

УДК 620.179.14

Герасимов В.В. **Спектральная идентификация модуляционных импульсов разных амплитуд в дефектоскопии композитных материалов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – 1 (90) – Днепропетровск, 2014. – С.69-74.

Исследовано различаемость сигналов поверхностных трещин композитных материалов разных амплитуд и сигналов отвода/перекоса вихретокового датчика фиксированной амплитуды. Обнаружено изменение знака разности между идентификационными параметрами этих сигналов при изменении соотношения между их амплитудами, что усложняет их идентификацию.

Библ. 4, ил. 2.

УДК 519.714.72

Рибка Ю.М. **Оптимізація при мінімізації булевих функцій** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1 (90). – Дніпропетровськ, 2014. – С. 75-78.

У роботі розглядаються матричні алгоритми визначення кількості наборів, що склеюються, при мінімізації булевих функцій.

Бібл. 2., іл. 1

УДК 621.3

Матвеева Н.О. **Використання штучних нейронних мереж для розв'язання задач класифікації в дефектоскопії** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1(90). – Дніпропетровськ, 2014. – С.79-86.

Представлено результати дослідження використання різних видів штучних нейронних мереж для розв'язання задач класифікації сигналів у дефектоскопії

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 62-50:519.49

Григор'єв В.М. **Детектируемость лінійних нестационарних багатозв'язних систем автоматичного управління** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 1 (90). – Дніпропетровськ, 2014. – С.87-91.

У роботі показано, що необхідною і достатньою умовою існування спостерігача, що забезпечує експонентну оцінку невідомих виходів лінійної нестационарної багатозв'язної системи, є експоненціальна стійкість системи однорідних лінійних нестационарних диференціальних рівнянь, відповідної правому найбільшому спільному дільнику операторних матриць об'єкта управління. Завдання синтезу спостерігача зводиться до вирішення матричного операторного рівняння з стійкої правою частиною.

Бібл. 10.

УДК 621.391.26(075)

Крохін В.В., Кузьменко Н.О. **Прискорення обчислень за допомогою МАТЛАБ шляхом розпаралелювання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових робіт. – 1 (90). – Дніпропетровськ, 2014. – С.92-97.

Розглядається можливість прискорення обчислень, зроблених у МАТЛАБ, за рахунок розпаралелювання. За наявності в складі устаткування багатоядерного процесора, розпаралелювання безпосередньо підтримується надбудовою Parallel Computing Toolbox фірми MathWorks. Використання цього інструменту для прискорення обчислень за допомогою графічного процесора може не дати бажаного ефекту. Прискорення більш надійно досягається за допомогою програмного продукту Jacket фірми AccelerEyes, який спеціально розроблений, щоб робити математичні розрахунки в середовищі MATLAB з використанням ресурсів сучасних відеокарт від NVIDIA.

Бібл. 5, табл. 1

УДК 620.179.14

Мартынович Л.Я., Лазоренко Ю.В. **Использование искусственных нейронных сетей для исследования электромагнитных полей углеродных композитов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – 1(90). – Днепропетровск, 2014. – С.98-102.

Проведено определение наличия дефекта и размеров дефекта типа расслоение с помощью искусственной нейронной сети обратного распространения.

Библ. 6, ил. 3.

УДК 539.2:548

Карпенко Н.В. **Моделювання структури твердих розчинів заевтектичних фаз на основі заліза** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – 1(90). – Днепропетровск, 2014. – С.103-107.

Розраховано середню кількість атомів у елементарній комірці твердого розчину змінного складу $\text{Fe}_3\text{P}_{1-x}\text{V}_x$. Проведено квантово-хімічне моделювання структури твердих розчинів на основі фосфідів та боридів методом функціонала густини. Показано, що за умови зміни співвідношення між атомами метал-неметал від 3:1 до 7:3 відбувається різка зміна мікромеханічних властивостей фази $\text{Fe}_3\text{P}_{1-x}\text{V}_x$.

Библ. 7.

УДК 621.371 + 537.86

Дробахин О.О., Короткая В.Г., Шерстюк Г.Г. **Экспериментальная оценка разрешающей способности многочастотных радиолокационных изображений при обратном синтезировании апертуры в промежуточной зоне излучения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.–1(90).–Днепропетровск, 2014.–С.108-114.

Рассмотрен метод обратного синтезирования апертуры на основе обобщенного метода пространственной инверсной фильтрации. Для данных реального эксперимента, полученных с помощью измерительно-вычислительного комплекса, реализующего метод Фурье-голографии для многочастотных сигналов, достигнуто повышение разрешающей способности в 1,6 – 4 раза в зависимости от расстояния между апертурой рупорной антенны и исследуемым объектом.

Библ. 7.

УДК 519.7

Іващенко В. П., Тимошкін А. І. **Про необхідні і достатні умови існування перевіряючого тесту довжини 2 для асинхронних автоматів Мура** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.–1(90).–Днепропетровск, 2014.–С.115-120.

Ставиться проблема існування перевіряючого тесту довжини 2 для асинхронних детермінованих кінцевих автоматів щодо константних несправностей на їх внутрішніх і зовнішніх полюсах. Проблема розглядається стосовно асинхронних автоматів Мура. Отримано необхідні та достатні умови існування перевіряючого тесту довжини 2 для асинхронних автоматів Мура щодо одиночних константних несправностей на їх внутрішніх і зовнішніх полюсах.

Бібл. 9.

УДК 519.71

Пошивалов В.П., Даниев Ю.Ф., Резниченко Л.В. **Общие принципы обеспечения надёжности эргатических систем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.–1(90).–Днепропетровск, 2014.–С.121-127.

Приведены общие принципы обеспечения надёжности эргатических систем. Отмечено, что рост интенсивности труда операторов требует разработки новых подходов к

обеспечению надёжности человека-оператора. Рассмотрены основные подходы к обеспечению надёжности программного обеспечения.

Библ. 12.

УДК 624.04

Кадильникова Т.М., Сіліна Н.О., Шинковська І.Л., Заєць І.П. **Загальні закономірності застосування вібрації при класифікації сировини для металургійного виробництва** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.–1(90).–Днепропетровск, 2014.–С.128-134.

Розглядаються можливості застосування вібрації для операцій класифікації сировини при підготовці матеріалів для металургійного виробництва. Досліджуються умови впливу параметрів вібрації на розташування пристроїв і режими експлуатації обладнання. Надаються рекомендації щодо роботи вібраційних приладів та виявлення вібраційних ефектів, реалізація яких у пристроях може радикально підвищити ефективність ряду технологічних процесів, пов'язаних з використанням вібрації.

УДК 622.647.2

Кирія Р.В. **Визначення критерію ефективності системи підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт в режимі підтримки заданого рівня вантажу в акумулюючих бункерах** / Р.В. Кирія, Т.Ф. Міщенко, Ю.В. Бабенко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.–1(90).–Днепропетровск, 2014.–С.135-145.

На підставі методу динаміки середніх одержано алгоритм визначення середньої пропускної спроможності і середньої енергоємності системи підземного конвеєрного транспорту з бункерами, що працюють в режимі підтримки заданого рівня вантажу в них. При цьому враховувалися простої конвеєрів і бункерів, а також самоподібність структури системи конвеєрного транспорту.

Дано аналіз ефективності функціонування системи підземного конвеєрного транспорту залежно від максимальних рівнів вантажу в бункерах і продуктивності живильників.

Бібл. 6, іл. 4, табл. 1.

УДК 004.4'2

Водолазкий Ю.А., Каліберда Ю.О., Михальов О.І. **Методика предметно-орієнтованого проектування додатків з використанням обмежених контекстів і контекстних карт** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.–1(90).–Днепропетровск, 2014.–С.146-158.

Робота присвячена методам об'єктно-орієнтованого моделювання програмного забезпечення з використанням підходу, що зветься предметно-орієнтоване проектування (DDD - Domain Driven Design). Даний підхід має декілька варіацій. У роботі показано, що предметно-орієнтоване проектування з використанням обмежених контекстів і контекстних карт має перевагу перед іншими реалізаціями цього підходу.

Бібл. 7.

УДК 514.18

Гнатушенко В.В. **Компьютерная технология повышения информативности сканерных данных ДЗЗ** / В.В. Гнатушенко, Л.С. Загородняя, В.Ю. Шевченко, В.С. Химель // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ.–1(90).–Днепропетровск, 2014.–С.159-164.

В работе предложена новая технология повышения информативности сканерных изображений на основе использования ИСА-, вейвлет-преобразований и использования предварительной эквализации. Тестирование данного алгоритма подтвердило его высокую эффективность при обработке цифровых изображений, полученных современными аэрокосмическими системами.

Библ. 4, ил. 3

UDK 681.3.07

Khandetskiy V.S., Khandetskiy P.V. **Influence of channel loading on routing using algorithm of diffuse updating** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.3 - 9.

Certain functions of influence of channel loading on the route metric at condition independence cumulative delay along a route from his loading and at condition, that a delay depends linear on loading.

UDC 004.92+519.674

Ivon A.I., Ivon Y.A., Lavrov R.I. **Application of bitmaps for increasing data processing accuracy in physical experiment** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.10 - 16.

Application of bitmaps obtained by a digital photcamera for increasing measurement accuracy was investigated. As it was shown, the processing of such images in graphic editors allows measuring sizes of planar objects with the absolute error no more than $\pm 31 \mu\text{m}$. The relative error of voltage measurement by means of the bitmaps of analog oscillograms does not exceed $\pm 1.5\%$.

Bibl. 2, ill. 3

УДК 004-93

Akhmetshina L.G., Yegorov A.A. **Automatic estimation of brightness and contrast for image quality determination** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.17 - 28.

This work is considered the new approach of the automatic brightness and contrast level estimations, that allow to enhance the authenticity of control of their change during image processing. Offered parameters can be used in automatic and automated modes of operation.

Bibl. 5, ill. 6, tabl. 2.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Gruzin D.L., Vyakilov A.S. **Optimization of developing multi-layer information system** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.29 - 35.

The given work is devoted to a variant of model-driven approach focused on simplifying of developing and maintaining multi-layer information systems. The specific of frame-based model and its use for code generation and run-time interpretation are provided; configuring system aspects are also discussed.

Bibl. 13, ill. 3

UDC 004.318+536.37

Ivon A.I., Istushkin V.F. **Modulation frequency of a clock signal at using of the throttling mode for overheating protection of processor** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.36 - 41.

The calculation of modulation frequency f_m of a clock signal was performed at using of V02 critical thermistor for realization of the throttling mode. As shown, f_m is linearly increasing with a growth of average energy expended for execution of machine instruction and is

linearly decreasing with a growth of ambient temperature Q , when $Q \ll T_t - \delta t / 2$. Modulation frequency reduces to zero when Q aspires to the temperature of metal-semiconductor phase transition $T_t = 68^\circ\text{C}$ in vanadium dioxide.

Bibl. 4, ill. 1

UDC 621.3

Ponomarev I.V. **Research of methods of optimization of web-sites based on CMS DRUPAL** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.42 - 47.

Investigates methods of rational use of hardware resources through the introduction of additional software tools and modules, modification of the existing code site. Website optimization can improve the quality of information-computing environment: capacity, the required amount of RAM, server response time, the load time.

Bibl. 2.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Polukhin G.V., Istomina V.V. **An approach of estimating and discovery medical standards for surgical clinic** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.48 - 53.

The given work is devoted to the problem of estimation and discovery standards for surgical clinic. The suggested solution is based on evolutionary statistical analysis of core standards defined by an expert, using a set of additional parameters axes and an algorithm of estimation, which formalized description has attached. It allows to find out the reason of deviation, to improve existed and create new standards.

Bibl. 4, ill.1.

UDC 621.3.068(03)

Sivtsov D.P., Khandetsky V.S., Grigoriev V.M. **Estimation the height of the relief elements of metal surfaces using digital optical scanning** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.54 - 63.

The theoretical and practical results of research of method for estimating the height of the relief elements on the metal components of solar batteries by use a flatbed scanner are discussed. Digital image processing was carried out. Some experimental dependences which were obtained by real samples are given. The work has practical value.

Bibl. 3, ill. 5.

UDK 621.373-187.4

Tverdostup N.I. **Generator of harmonic oscillations based on combined operating schemes** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.64 - 68.

Outlines implementation of low-frequency (0,5–10 kHz) harmonic oscillator continuously tunable based on combined operating the scheme, which provides multiplication inductive impedance of the resonant circuit that allows the use of the coil with a low inductive stew.

Bibl. 6, ill. 2.

UDC 620.179.14

Gerasimov V.V. **Spectral identification of modulation impulses of various amplitudes in defectoscopy of composite materials** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.69 - 74.

Investigated identity signals of surface cracks of composite materials of various amplitudes and signals of lift-off or tilt effect of eddy current sensor of the fixed amplitude. Revealed the change of the sign of the difference between identification parameters of these signals at ratio change between their amplitudes that complicates their identification.

Bibl. 4, ill. 2.

UDC 519.714.72

Rybka Yu.M. **The optimization at minimization of boolean functions** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.75 - 78.

The matrix algorithms of the determination of number of sets, which stick together at minimization of boolean functions are considered.

Bibl. 2, ill. 1.

UDC 621.3

Matveeva N.A. **Use of artificial neural networks for solution of problems classification in detection** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.79 - 86.

The research results of using different types of artificial neural networks for the solving of the problems of classification signals in detection are presented.

Bibl. 4, ill. 1.

UDC 62-50:519.49

Grigor'ev V. M. **Detectability of linear time-varying multivariable automatic control systems** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.87 - 91.

It is shown that a necessary and sufficient condition for the existence of an observer, providing exponential estimate unknown outputs of linear time-varying system is exponential stability of the system of homogeneous linear differential equations corresponding to the left greatest common divisor of operator matrices of control object. The synthesis problem is reduced to solving matrix operator equation with a stable right-hand side.

Bibl. 10.

UDC 621.391.26(075)

Krokhin V.V. Kuzmenko N.O. **Faster computation using MATLAB through parallelizing** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.92 - 97.

The article considers the possibility of speeding up calculations performed using MATLAB, by parallelizing. Having a multi-core Processor as part of the equipment parallelizing is directly supported by superstructure Parallel Computing Toolbox from (firm) MathWorks. The article shows that the use of this tool to speed up the calculations on the GPU may not give the desired effect. Acceleration effect is more reliably achieved with the help of software firms Jacket AccelerEyes, which is specially designed to perform mathematical calculations in MATLAB using the resources of modern graphics cards from NVIDIA.

Bibl. 5, tabl. 1

UDC 620.179.14

Martynovych L.Y., Lazorenko Y.V. **The using artificial neural network for researching the electrical magnetic field of carbon composites** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.98 - 102.

The definition of the presence of defects in the composite material and definition of the size of defect type of stratification by using artificial neural network reverse the spread was held.

Bibl.6, ill. 3

UDC 539.2:548

Karpenko N.V. **Modeling the structure of the solid solution phase hypereutectic iron-based** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.103 - 107.

Calculated the average number of atoms in the unit cell of a solid solution of variable composition $Fe_3P_{1-x}B_x$. The quantum-chemical modeling of the structure of solid solutions on the basis of phosphides and borides by density functional theory. It is shown that under the condition change the ratio between the metal-nonmetal atoms of 3:1 to 7:3 is a sharp change micromechanical properties of phase $Fe_3P_{1-x}B_x$.

Bibl. 7, tabl. 3, ill. 2

UDC 621.371 + 537.86

Drobakhin O. O., Korotkaya V.G., Sherstyuk G.G. **Experimental Evaluation of Spatial Resolution of Multifrequency Radar Images with Inverse Synthetic Aperture in the Intermediate Zone of Radiation** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.108 - 114.

The method of inverse aperture synthesis on the basis of the method generalized spatial inverse filtration is proposed. Real experimental data have been obtained by measuring and calculating complex implementing Fourier holography method for multifrequency signals. For the experimental data the spatial resolution has been improved in 1.6 - 4 times in dependence from distance between the horn aperture and object under research.

Bibl. 7.

UDK 519.7

Ivaschenko V.P., Timoshkin A.I. **About necessary and sufficient conditions for the existence of fault detection test of the length of two or two-testability for Moore automata** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.115 - 120.

The problem of the existence of fault detection test of the length, of two for finite determinate asynchronous automata in respect of stuck-at faults on their external and internal poles is raised. This problem is considered in respect of asynchronous Moore automata. The necessary and sufficient conditions for the existence of fault detection test of the length of two for asynchronous Moore automata in respect of single stuck-at faults on their external and internal poles have been obtained.

UDK 519.71

Poshivalov V.P., Daniev J.F., Reznichenko L.V. **The general principles of maintenance of reliability ergative systems** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.121 - 127.

The general principles of maintenance of reliability ergative systems are resulted. It is marked, that growth of intensity of work of operators demands development of new approaches to maintenance of reliability of the person - operator. The basic approaches to maintenance of reliability of the software are considered.

Bibl. 12.

UDK 624.04

Kadilnikova T., Silina N., Shynkovskaya I., Zaetz I. **General patters of application of vibration for classification raw material in metallurgical production** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.128 - 134.

Possibilities of application of vibration are examined for operations of classification of raw material at preparation of materials for metallurgical production. Terms of influence of parameters of vibration are prospected on location of devices and modes of exploitation of equipment. Given to recommendation on work of oscillation devices and finding out oscillation effects realization of that in devices can radically promote efficiency of row technological processes constrained with the use of vibration.

UDK 622.647.2

Kiriya R **Determination of coefficient of efficiency of conveyer transport system functioning of coal mines in mode of keeping in it set cargo amount in accumulative hoppers** / R. Kiriya, T. Mishenko, Yu. Babenko // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.135 - 145.

Based on methods of average dynamics we got the algorithm of determing average productivity and average energy cost of conveyer transport system with hoppers which work in in mode of keeping in it set cargo volume. In this case we take in account failures of conveyers and hoppers, and also self-similarity of conveyer transport system structure.

We gave the analysis of effectiveness of conveyer transport system functioning depending on maximum cargo rates in hoppers and batchers' productivities.

Refs. 6, ill. 4, tabl. 1.

UDK 004.4'2

Yuri Vodolazkyy, Yuri Kaliberda, Alexander Mikhalyov **Object-oriented design technique of applications with limited context and context maps** // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.146 - 158.

Work is devoted to methods of object-oriented software design using an approach called DDD - Domain Driven Design. This approach has several variations. It is shown that the domain driven design using limited context and context card has an advantage over other implementations of this approach.

UDC 514.18

Hnatushenko V.V. **Computer technology of improve the informativeness scanner remote sensing data** / V. Hnatushenko, , L. Zagorodnyaya, V. Shevchenko, V. Himel // System technologies. N 1(90) - Dnipropetrovsk, 2014.- P.159 - 164.

A new technology to improve the informativeness of scanner images through the use of ICA-wavelet transforms and use pre-equalization. Testing this algorithm has confirmed its high efficiency in the processing of digital images obtained with modern aerospace systems.

Bibl. 4, ill. 3.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Ахметшина Людмила Георгиевна – профессор, д.т.н., профессор кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Вякилов Анар Сайяр оглы – студент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Герасимов Владимир Владимирович – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Григор'єв Віктор Михайлович – доцент, к.ф.-м.н, доцент кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Грузин Дмитрий Леонидович – студент 4 курса, 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.

Ивон Александр Иванович – д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Ивон Юрий Александрович – ведущий инженер программного обеспечения в компании EPAM Systems.

Истомина Вероника Вячеславовна – студентка 4 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Истушкин Валерий Федорович – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Карпенко Надія Валеріївна – доцент, к.ф.-м.н, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Короткая Валентина Григорьевна – старший преподаватель кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Крохин Владимир Викторович – к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Кузьменко Наталья Олеговна, 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 – студент 4 курса кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Литвинов Александр Анатольевич – доцент, к.т.н, доцент кафедри ЕОМ Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Мартынович Лариса Ярославовна – ассистент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара.

Матвеева Наталия Александровна – доцент, к.т.н., доцент каф. ЭВМ, ДНУ им. Олеся Гончара.

Полухін Геннадій Володимирович – студент, Дніпропетровський національний університет ім. О. 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.

Твердоступ Николай Иванович – доцент, к.т.н., доцент 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.

Шерстюк Геннадий Геннадиевич – аспирант кафедры прикладной и компьютерной радиофизики Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара

Тимошкин Андрей Иванович - доц. каф. ПМ и ВТ Национальной металлургической академии, к.ф.-м.н.

Иващенко Валерий Петрович - д.т.н., проф., проректор, НМетАУ.

Пошивалов Владимир Павлович - заведующий отделом, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины.

Даниев Юрий Фаизович - старший научный сотрудник, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины.

Резниченко Людмила Васильевна - младший научный сотрудник, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины.

Кадильникова Тетяна Михайлівна - професор кафедри вищої математики, НМетАУ.

Сіліна Наталія Олександрівна - аспірант кафедри вищої математики, НМетАУ.

Шинковська Ірина Леонідівна - старший викладач кафедри вищої математики, НМетАУ.

Заєць Ірина Петрівна - асистент кафедри вищої математики, НМетАУ.

Кирия Руслан Виссарионович - к.т.н., ст. научн. сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Мищенко Тамара Федоровна - ведущий инженер, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Бабенко Юлия Васильевна – аспирант, Национальная металлургическая академия Украины.

Водолазкий Ю.А. – ст. викладач кафедри Інформаційних технологій та систем НМетАУ.

Каліберда Ю.О. – ст. викладач кафедри Інформаційних технологій та систем НМетАУ.

Михальов О.І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри Інформаційних технологій та систем НМетАУ.

Гнатушенко Володимир Володимирович — д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Загородня Ліля Сергіївна – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Шевченко Віта Юріївна – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

Хімель Валерій Сергійович – студент 4 курсу кафедри автоматизованих систем обробки інформації Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.