

В.В. Стьопкін, В.Є. Кажан, Р.В. Дем'янов, В.Р. Гродецький
**ЗАДАЧА МОДАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ДВОМАСОВОЇ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

Анотація. В даній роботі розроблена математична модель електромеханічної системи четвертого порядку при доступності вимірів усіх змінних стану. Виконаний розрахунок значень полюсів системи з модальним регулятором, отримані та досліджені графіки перехідних процесів для стандартних форм полінома Ньютона та полінома Баттерворта для четвертого порядку системи.

Ключові слова: електромеханічна система, частота коливань, модальний регулятор, поліном, матриця, перехідний процес, перерегулювання.

Постановка проблеми. Для формування впливу керування в замкнених системах автоматичного керування використовується інформація про вектор стану. Якщо система є повністю керованою, то використовуючи лінійний зворотний зв'язок за вектором стану можна задавати бажані динамічні властивості замкненої системи використовуючи методи модального синтезу або задачі квадратичної оптимізації. На практиці реалізація зворотного зв'язку за вектором стану ускладнена, так як безпосередньому вимірюванню доступні тільки окремі компоненти вектору стану. Встановлення додаткових датчиків виміру змінних стану може бути фізично ускладнено та вести до невиправданому збільшенню вартості або ускладненню синтезу системи керування при необхідності врахування динамічних властивостей датчиків. Таким чином, задача відновлення змінних стану за відомими значеннями входів та виходів системи автоматичного керування є однією з фундаментальних у теорії автоматичного керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У теперішній час більшість промислових електромеханічних систем (ЕМС) використовують

одноконтурні системи автоматичного керування (САК) з типовими пропорційними, пропорційно-інтегральними та пропорційно-інтегрально-диференційними регуляторами або системи підпорядкованого регулювання координат. Для інерційних об'єктів невисокого порядку, з характерною відсутністю взаємного впливу координат стану та виражених коливальних властивостей, це є виправданим та дозволяє будувати САК з високими технологічними вимогами. Для більш складних об'єктів такий підхід є також виправданим, але при невисоких технічних вимогах до якості процесів керування [1].

В сучасних динамічних системах застосування типових законів регулювання в високодинамічних системах не дає результату. Наприклад при використанні типового пропорційно-інтегрального регулятора швидкості в електроприводі промислових механізмів може бути відсутня стабілізація швидкості із значними швидкодіючими динамічними відхиленнями швидкості до 80-100% від усталеного значення.

Підвищення вимог до якості керування тягне за собою необхідність врахування більш тонких ефектів функціонування об'єкту керування і, як слідство, ускладнення його математичної моделі з появою нових факторів складності, що вимагають застосування більш досконалих методів керування, які володіють широкими функціональними можливостями в забезпеченні якості перехідних процесів [2].

Одним з найбільш перспективних методів синтезу пристроїв керування для систем автоматизації, є модальне керування, що надає розробнику широкі можливості для забезпечення необхідних показників якості перехідних процесів: підвищення швидкодії; усунення коливальності при наявності пружності та люфтів в кінематичних колах і т.д. У зв'язку з цим в останній час питання аналізу та синтезу систем модального керування ЕМС є актуальним та йому приділяється все більше уваги [3-5].

Мета дослідження. Метою даної роботи є розробка моделі електромеханічної системи з модальним регулятором для задач синтезу спостерігача стану мінімального порядку. Об'єктом керування є двомасова електромеханічна система з пружними зв'язками.

Викладення основного матеріалу дослідження. В даній роботі здійснено опис математичної моделі об'єкта та вирішена задача модального керування на прикладі двомасової ЕМС. Розрахункова та структурна схеми об'єкта керування наведені на рис.1,а,б.

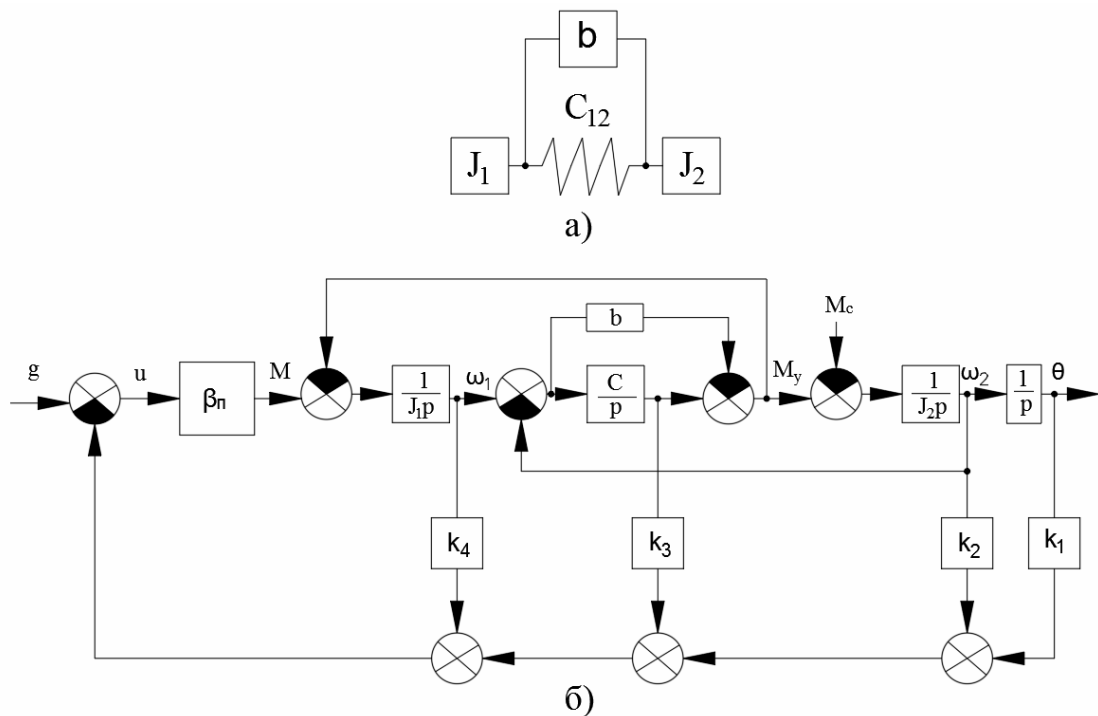


Рисунок 1 - Розрахункова (а) та структурна (б) схеми об'єкта керування

На розрахунковій схемі (рис.1,а) позначено: J_1 – момент інерції першої маси; J_2 – момент інерції другої маси, зведений до валу двигуна; C_{12} – коефіцієнт жорсткості пружного зв'язку між першою та другою масами; b – коефіцієнт в'язкого тертя. На структурній схемі (рис.1,б) позначено: β_n – коефіцієнт передачі; Θ – кут повороту; ω_1, ω_2 – кутові швидкості першої та другої мас; k_1, k_2, k_3, k_4 – компоненти вектору лінійного зворотного зв'язку відповідно до обраного закону керування.

Рівняння руху має наступний вигляд:

$$\begin{cases} M - M_{12} - M_{c1} = J_1 \cdot p \cdot \omega_1, \\ M_{12} - M_{c2} = J_2 \cdot p \cdot \omega_2, \\ p \cdot M_{12} = C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + b \cdot p \cdot (\omega_1 - \omega_2), \end{cases}$$

де $M_{12} = C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + b \cdot (\omega_1 - \omega_2)$ – момент пружної взаємодії та в'язкого тертя між рухомими масами; M – електромагнітний момент двигуна; M_{c1} , M_{c2} – статичні навантаження електропривода; φ_1, φ_2 – кутові пересування першої та другої мас.

Візьмемо параметри реальної ЕМС: $J_1 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $J_2 = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $b = 0,0025 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$; $C = 2,25 \text{ Н} / \text{м}$; $\beta_n = 0,0125$; $i = 25$ – передатне число редуктора.

Зведені параметри ЕМС: $J_2 = J_2' / i^2 = 1,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $b = b' / i^2 = 0,000004 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}$; $c = c' / i^2 = 0,00336 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Керування системи будується змінними стану x_1, x_2, x_3, x_4 , при цьому $x_1 = \Theta$ – кут повороту, $x_2 = \omega_1$ – кутова швидкість першої маси; $x_3 = M_y'$ – пружна складова пружного моменту ($M_y' = b \cdot (\omega_1 - \omega_2)$), $x_4 = \omega_2$ – кутова швидкість другої маси.

За структурною схемою (рис.1,б) складемо математичний опис у просторі стану без врахування впливу зовнішніх збурень та лінійного зворотного зв'язку:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = \frac{1}{J_2} \cdot (-b \cdot x_2 + x_3 + b \cdot x_4), \\ \dot{x}_3 = C \cdot (-x_2 + x_4), \\ \dot{x}_4 = \frac{1}{J_1} \cdot (b \cdot x_2 - b \cdot x_4 - x_3). \end{cases} \quad (1)$$

Опис системи у просторі стану у векторно-матричній формі без врахування зовнішніх збурень:

$$\begin{cases} \dot{x} = A \cdot x + B \cdot u, \\ y = C \cdot x, \end{cases} \quad (2)$$

де $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$ – вектор змінних стану;

A, B, C – матриці системи, входу та виходу:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{b}{J_2} & \frac{1}{J_2} & \frac{b}{J_2} \\ 0 & -C & 0 & C \\ 0 & \frac{b}{J_1} & -\frac{1}{J_1} & -\frac{b}{J_1} \end{bmatrix}; B = [0 \ 0 \ 0 \ \beta_{\pi} / J_1]^T; C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В результаті отриманий математичний опис об'єкта керування у просторі стану у вигляді (1) або векторно-матричній формі (2), придатний для подальшого аналізу та синтезу системи керування.

Під задачею модального керування маємо на увазі задачу вибору визначених параметрів лінійного регулятора, які забезпечують розташування усіх коренів характеристичного поліному у заданій області, або у заданих точках комплексної площини. Необхідною та достатньою умовою стійкості системи є знаходження у лівій напівплощині полюсів передатної функції, які визначають характер та кількісні показники процесів у системі.

Рівняння стану лінійного стаціонарного об'єкта керування має вигляд:

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u, \quad (3)$$

де $x \in R^n$ – вектор стану; $u \in R$ – вектор керування; A – матриця системи; B – матриця входу.

Введемо лінійний зворотний зв'язок, який забезпечує бажане розташування полюсів на комплексній площині:

$$u = g - L \cdot x, \quad (4)$$

де g – позначення вектору вхідних впливів; L – матриця зворотного зв'язку.

Замкнена система керування з об'єктом керування та лінійним зворотним зв'язком може бути отримана якщо поєднати рівняння (3) та (4):

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot (g - L \cdot x) = (A - B \cdot L) \cdot x + B \cdot g, \quad \dot{\tilde{x}} = \tilde{A} \cdot \tilde{x} + B \cdot g,$$

де $\tilde{A} = A - B \cdot L$ – матриця визначення динамічних властивостей САК.

Розподілення полюсів на комплексній площині можна задати стандартним бажаним поліномом виду:

$$D_6(p) = p^4 + f_1 \cdot \omega_0 \cdot p^3 + f_2 \cdot \omega_0^2 \cdot p^2 + f_3 \cdot \omega_0^3 \cdot p + \omega_0^4,$$

де f_1, f_2, f_3 – коефіцієнти визначення розташування коренів полінома та виду перехідної характеристики САК; ω_0 – середньгеометричний корінь полінома.

Для проведення досліджень динамічної системи візьмемо поліноми Баттерворта та Ньютона – біноміальний поліном. Приймаємо, що середньгеометричний корінь дорівнює $\omega_0 = 50 \text{ c}^{-1}$, що відповідає власній частоті коливань механічної системи.

У програмі MATLAB виконаний розрахунок модального регулятора. Текст програми розрахунку модального регулятора наведений на рис.2.

```

modal.m  x  +
1      % Формування вихідних даних
2      c=0.00336;
3      J1=6.4e-6;
4      J2=1.712e-6;
5      b=0.000004;
6      bcurent=0.0125;
7      w0=50;
8      % Опис об'єкта керування у просторі стану
9      A=[0 1 0 0
10         0 -b/J2 1/J2 b/J2;
11         0 -c 0 c;
12         0 b/J1 -1/J1 -b/J1];
13      B=[0 0 0 bcurent/J1]';
14      C=[1 0 0 0
15         0 0 0 1];
16      % Розрахунок модального регулятора
17      % 1. Завдання полінома Баттерворта
18      batterv_polynom=[1 2.6*w0 3.4*w0^2 2.6*w0^3 w0^4];
19      % 2. Завдання полінома Ньютона
20      nuton_polynom=[1 4*w0 6*w0^2 4*w0^3 w0^4];
21      % Розрахунок коренів поліномів
22      batterv_roots=roots(batterv_polynom);
23      nuton_roots=roots(nuton_polynom);
24      % Розрахунок коефіцієнтів поліномів
25      LM_batterv=acker(A,B,batterv_roots);
26      LM_nuton=acker(A,B,nuton_roots);
27      % Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків
28      K1_nuton=LM_nuton(4)/LM_nuton(1);
29      K2_nuton=LM_nuton(3)/LM_nuton(1);
30      K3_nuton=LM_nuton(2)/LM_nuton(1);
31      K1_batterv=LM_batterv(4)/LM_batterv(1);
32      K2_batterv=LM_batterv(3)/LM_batterv(1);
33      K3_batterv=LM_batterv(2)/LM_batterv(1);
    
```

Рисунок 2 - Текст програми розрахунку модального регулятора

Структурна схема моделі для САК ЕМС 4-го порядку наведена на рис.3.

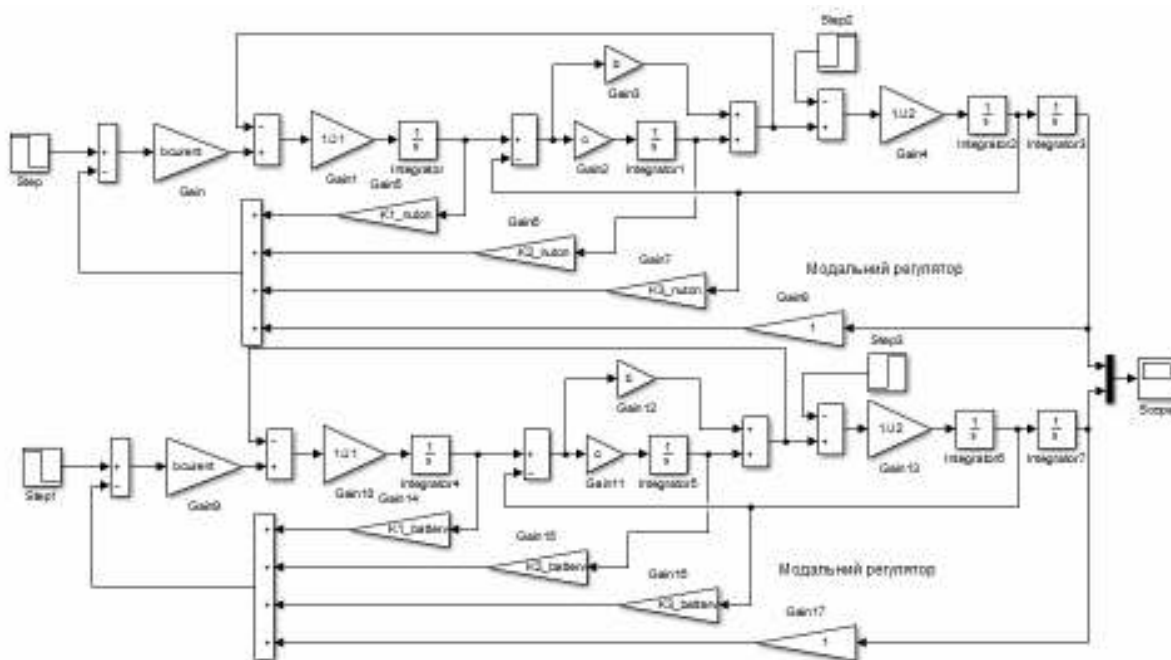


Рисунок 3 - Структурна схема моделі для САК ЕМС 4-го порядку

Графіки перехідних процесів при використанні для налагодження модального регулятора полінома Ньютона (2 на рис.4) та полінома Баттерворта (1 на рис.4.) для системи 4-го порядку наведені на рис.4.

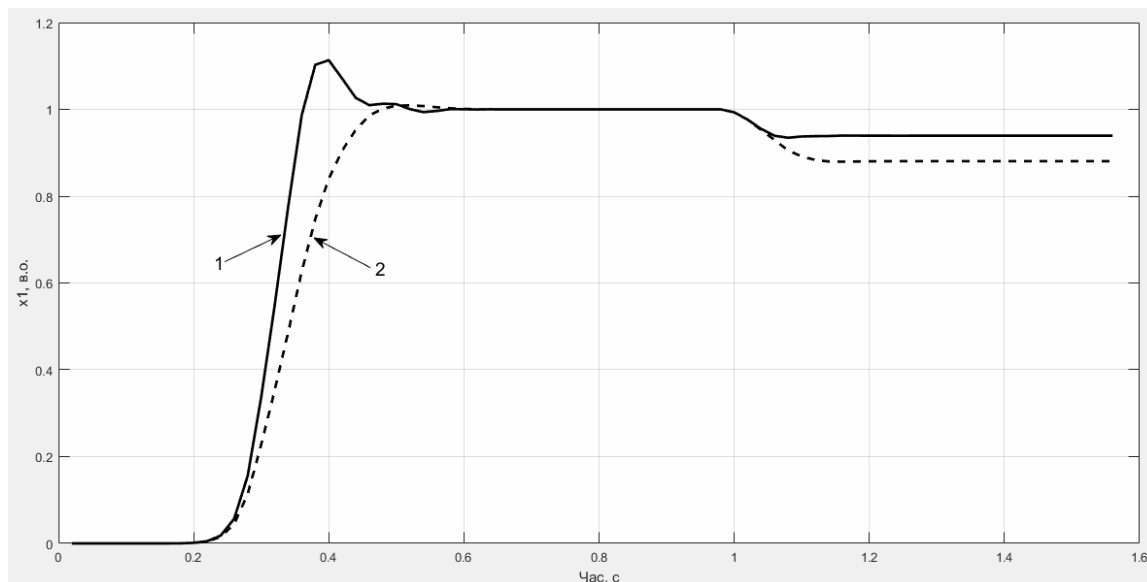


Рисунок 4 - Графіки перехідних процесів при використанні для налагодження модального регулятора полінома Ньютона (2) та полінома Баттерворта (1) для системи 4-го порядку

Час моделювання складає 1,6с, у час 0 с на вхід системи подається вплив керування, який дорівнює 1, далі у час 1 с ступінчастим сигналом подається вплив збурення, який дорівнює 0,0001. При використанні полінома Баттерворта усталена помилка дорівнює 0,0607, а Ньютона – 0,1195. Перерегулювання системи у полінома Баттерворта суттєво більше, ніж у полінома Ньютона, відповідно, пульсація також більша. Враховуючи, що усталена помилка при використанні полінома Ньютона більша, а задана система припускає перерегулювання (на рис.4 перерегулювання менше 15%), то в подальшому доцільно буде використовувати поліном Баттерворта. Припускалося що усі змінні стану були доступними для вимірів. У іншому випадку доцільно було б використовувати спостерігачі стану.

Висновок. Виконаний опис об'єкта керування із підбором оптимальних параметрів регулятора. Досліджені способи отримання матриць лінійного зворотного зв'язку за вектором стану. Отримані та досліджені перехідні процеси при використанні для налагодження модального регулятора полінома Ньютона та полінома Баттерворта для системи 4-го порядку, з яких можна зробити висновок про використання в подальших дослідженнях другого поліному, який володіє меншою статичною помилкою.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. – К: Либідь, 2007. – 656 с.
2. Мелешкин А. И. Модальный синтез регуляторов пониженного порядка / А. И. Мелешкин. – Новосибирск, 1999. – 76 с.
3. Панкратов В. В. Специальные разделы теории автоматического управления. Ч.1. Модальное управление и наблюдатели / В. В. Панкратов. – Новосибирск, 2011. – 187 с.
4. Модальное управление взаимосвязанными электроприводами с упругими звеньями и зазорами в кинематических передачах / В.А. Иванков, С.В. Тарарыкин, В.В. Тютиков, В. В. Красильникьянец. // Вестник ИГЭУ. – 2006. – №3. – С. 6–12.
5. Кочнев Н. В. Модальное управление нежесткими электромеханическими системами в металлургии [Електронний ресурс] / Н.В. Кочнев,

Т.Н. Кочнева // Современная техника и технологии. 2015. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://technology.snauka.ru/2015/04/6296>.

REFERENCES

1. Popovich M.G. The theory of automatic control / M.G. Popovich, O.V. Kovalchuk. - K: Libid, 2007. - 656 p.
2. Meleshkin A. I. Modal synthesis of low-order regulators / A. I. Meleshkin. - Novosibirsk, 1999. - 76 p.
3. Pankratov V.V. Special sections of the theory of automatic control. Part 1. Modal management and observers / V.V. Pankratov. - Novosibirsk, 2011. – 187p.
4. Modal control of interconnected electric drives with elastic links and gaps in kinematic gears / V. A. Ivankov, S. V. Tararykin, V. V. Tyutikov, V. V. Krasilnikyanets. // Bulletin of the ISEU. - 2006. - №. 3. - P. 6–12.
5. Kochnev N. V. Modal control of non-rigid electromechanical systems in metallurgy [Electronic resource] / N. V. Kochnev, T. N. Kochneva // Modern equipment and technologies. 2015. - 2015. – Access mode to the resource: <http://technology.snauka.ru/2015/04/6296>.

Received 03.02.2020.

Accepted 10.02.2020.

Задача модального керування двомасової електромеханічної системи

Розглядається математична модель електромеханічної системи четвертого порядку при врахуванні доступності вимірів усіх змінних стану. Виконується розрахунок значень полюсів системи з модальним регулятором, отримані та досліджені графіки перехідних процесів для стандартних форм полінома Баттерворта та полінома Ньютона для четвертого порядку системи. Досліджуються перехідні процеси при використанні для налагодження модального регулятора полінома Ньютона та полінома Баттерворта для системи четвертого порядку, з рекомендаціями щодо подальшого використання в системі полінома Баттерворта, який дає меншу статичну помилку.

The task of modal control of a two-mass electromechanical system

In this paper, an example of a block diagram of a control system for an electromechanical two-mass object, taking into account the dynamics of the drive. The control of the system is based on such state variables as: angle of rotation; angular velocities of the first and second masses; elastic component of elastic moment. The system description is provided in the state space in vector-matrix form, which is suitable for further analysis and synthesis of the control system.

A mathematical model of the fourth-order electromechanical system was developed taking into account the availability of measurements of all state variables. The calculation of the values of the poles of the system with a modal controller is performed, and the transients are obtained and studied for the standard forms of the Butterworth polynomial and the Newton polynomial for the fourth order of the system.

Mathematically described control object in the form of a two-mass electromechanical system with adjustment of modal controller parameters in MATLAB program. Methods for obtaining linear feedback by state vector are investigated. Transitions were obtained and investigated when used for debugging a modal Newton polynomial controller and a Butterworth polynomial

for a fourth-order system, with recommendations for future use in a Butterworth polynomial system that produces less static error.

In the case of the Butterworth polynomial, the static error is 6% and in the Newton polynomial the error is 12%. The overregulation of the system in the Butterworth polynomial is significantly greater than in the Newton polynomial, respectively, the pulsation is also larger. An overregulation of less than 15% is acceptable for a given system.

The model of the two-mass electromechanical system, obtained in the paper, provides for the availability of measurements of all state variables, which in some cases is not possible. The obtained model of the electromechanical system is ready for further use in systems with state observers, where it is possible to restore variables that are unavailable for measurement with the exception of the installation of additional measuring sensors.

Степкин Василий Владимирович - доцент кафедры электротехники и электропривода Национальной металлургической академии Украины.

Кажан Владимир Евстафьевич - доцент кафедры электротехники и электропривода Национальной металлургической академии Украины.

Демьянов Роман Витальевич - студент группы АП01-15 электрометаллургического факультета Национальной металлургической академии Украины.

Гродецкий Владислав Русланович - студент группы АП01-15 электрометаллургического факультета Национальной металлургической академии Украины.

Стьопкін Василь Володимирович - доцент кафедри електротехніки та електропривода Національної металургійної академії України.

Кажан Володимир Євстафійович - доцент кафедри електротехніки та електропривода Національної металургійної академії України.

Дем'янов Роман Віталійович - студент групи АП01-15 електрометалургійного факультету Національної металургійної академії України.

Гродецький Владислав Русланович - студент групи АП01-15 електрометалургійного факультету Національної металургійної академії України.

Stopkin Vasyl - associate professor, department of electrical engineering and electric drive, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Kazhan Vladimir - associate professor, department of electrical engineering and electric drive, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Demyanov Roman - student of the group AP01-15 of the electrometallurgical faculty of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Grodetsky Vladislav - student of the group AP01-15 electrometallurgical faculty of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

ФОРМУВАННЯ ГРУП ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ВЗАЄМНОГО НАВЧАННЯ

В статті представлено метод взаємного навчання. Розглянуто показники, які впливають на формування груп. Представлені результати експерименту по формуванню схем взаємодії студентів в бригадах взаємонавчання. Для правильного підбору студентів в групи запропоновано соціометричний метод.

Ключові слова: метод взаємного навчання, студенти, навчальний процес, дослідження, соціометричний метод.

Постановка проблеми. Дослідження та впровадження методу взаємного навчання може стати одним із шляхів підвищення ефективності підготовки спеціалістів. Хороший фахівець характеризується не тільки знанням, але і вмінням самостійно поповнювати їх, відповідати сучасним потребам виробництва. Для цього потрібно орієнтуватися в швидкому потоці наукової інформації. Всі ці якості не можна сформува-ти у сучасного фахівця, орієнтуючись тільки на однотипні та звичні форми і методи навчання. Необхідно розробляти і впроваджувати інші форми і методи, які б стимулювали допитливість та відповідали вимогам життя.

Спосіб взаємного навчання може внести свій вагомий вклад в рішення цих задач. Взаємним навчанням називається така форма організації навчального процесу, при якій деякі функції викладача виконують-ся самими студентами. Спосіб дає можливість варіювати кількість тих, хто навчає і тих, хто навчається. Така форма навчання дає можливість працювати колективно, при цьому формує самостійність мислення, роз-виває мову, знімає напругу, розвиває індивідуальні здібності студентів, одночасно підвищуючи якість знань та умінь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ідея взаємного навчання захоплювала педагогів упродовж усієї історії педагогіки. Тому це не нова методика, але її невиправдано “забували”. Офіційне ж визнання і поширення вона отримала у кінці 18 і початку 19 віків, коли англійські педагоги Белл Андру і Ланкастер Джозеф створили школи і розробили систему взаємного навчання. Чіткий розподіл обов'язків, строго певний порядок дій студентів, висока оперативність системи підведення підсумків, визначення місця кожному студентові відповідно до його результатів, розумне чергування видів діяльності – ось основні заходи, що дозволяють створювати високу зацікавленість і успішно управляти процесом навчання великої кількості студентів. Така організація учбового процесу дозволяла істотно підвищити ефективність навчання [1]. Добре відома технологія колективного взаємонавчання А.Г. Ривіна.

Протягом останніх десятиліть використовуються колективні способи навчання, що втілили досвід українських педагогів – В.К. Дяченко та О.Г. Ривіна. Розроблено декілька варіантів методики взаємного навчання. Значний внесок у розробку загальних принципів організації групової та колективної роботи дали дослідження В.В. Котової, Г.О. Цукерман, О.Г. Ярошенко та інших. Ідеї взаємонавчання отримують все більше розповсюдження у системах навчання різних країн світу, тому що відкривають можливості для співпраці, спілкування, сприяють досягненню вищих результатів засвоєння знань і вмінь. Багато уваги цьому питанню присвячує С.О. Карплюк.

Мета дослідження. Приділяючи увагу методичному матеріалу, тематиці завдань, посібникам для взаємного навчання і перекресним програмам, учбовому діалогу, взаємному аналізу відповідей та дій, обговоренню завдань, на наш погляд, незаслужено мало уваги приділяється способу формування робочих груп для взаємонавчання. Допускається, мабуть, що це відбудеться інтуїтивно. Але нажаль, це не так. Як відомо, від правильного формування робочих груп залежить їх продуктивність, швидкість та якість роботи. Так само і в навчанні. Дослідити залежності успіху навчання від різних способів формування груп, на нашу думку, назріла проблема.

Викладення основного матеріалу дослідження. При формуванні студентських груп для взаємонавчання, крім успішності і здібностей студентів, необхідно враховувати і їх психологічну сумісність, темп засвоєння матеріалу, темперамент ін. Для дослідження впливу способу формування робочих груп на результати взаємонавчання проводили наступний експеримент. Частково скористаємося результатами дослідження, яке було нами проведено для підтвердження переваг цього методу навчання. У роботі [1] запропоновано наступний спосіб формування груп-бригад для роботи методом взаємонавчання. Групу студентів третього курсу, спеціальності "Гнучкі комп'ютеризовані системи і робототехніка" розділили на дві підгрупи. Перша підгрупа вивчала дисципліну за звичайною методикою. Студенти, прослухавши лекційний матеріал, індивідуально виконували лабораторні роботи. Друга підгрупа була розбита на чотири бригади, в кожній з яких були три студенти. Дві бригади сформували по такій структурі: один "сильний" студент, один "середній" студент і один "слабкий" студент. А наступні дві бригади сформували по такій структурі: один "сильний" студент і два "слабких" студента.

Як і очікувалося, бригади першої структури (один "сильний", один "середній" і один "слабкий" студент) по швидкості вивчення матеріалу показували кращі результати. Це пояснюється тем, що вони краще підготовлені ("сильний" та "середній" студенти), та ще й тим, що могли діяти за різними схемами: №1 или №2 или №3.

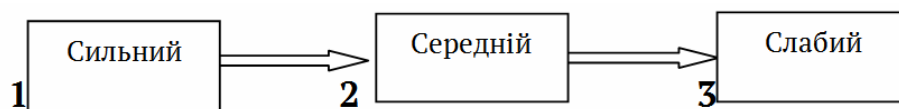


Рисунок1- Схема №1

Перший роз'яснює другому, а другий роз'яснює третьому.

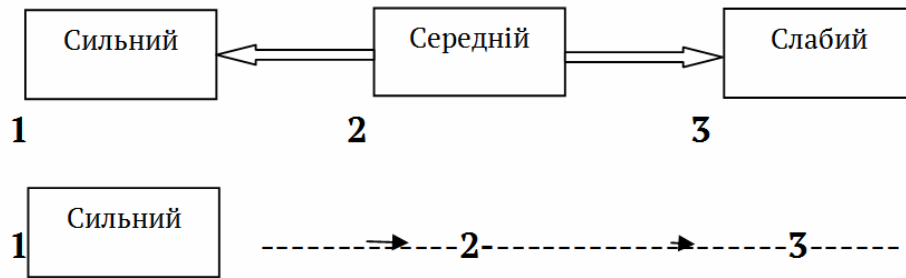


Рисунок 2 - Схема №2

Другий роз'яснює першому і третьому, потім перший доповнює для другого і третього.

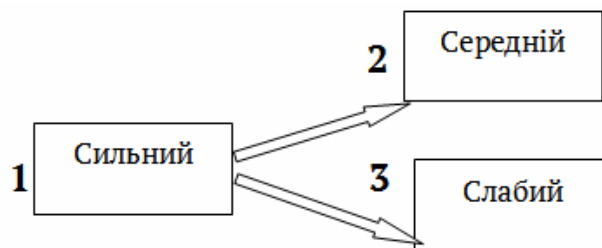


Рисунок 3- Схема №3

Перший роз'яснює другому і третьому. Схема, коли роз'яснює третій не працює.

Бригади другої структури (один "сильний" і два "слабких" студента) можуть навчатися тільки по одній схемі.

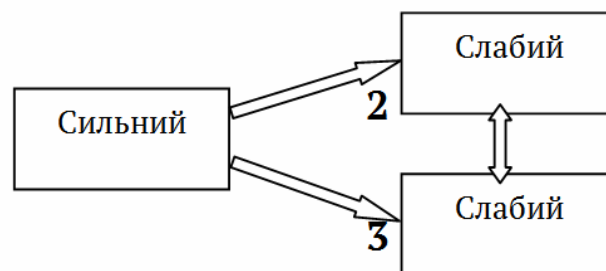


Рисунок 4 - Схема №4

Перший роз'яснює другому і третьому, при потребі другий і третій уточнюють один одному.

Схема, коли роз'яснює третій чи другий не працює. Загальна підготовка в них нижча. Тому бригади другої структури повільніше вивча-

ють матеріал. Кожна з схем має свої переваги та недоліки. Вибір представлених структур бригад залежить тільки від успішності студентів в групі. Крім розглянутих, можливо сформувати і інші структури. Наприклад: всі "середні" студенти, два "середніх" і один "слабких" і т.п.

Але, як вказувалося раніше, необхідно враховувати і їх психологічну сумісність. Студентська бригада для взаємонавчання: "є поліергатиною системою, якість функціонування якої визначається характеристиками не тільки окремих операторів, але і колективу як цілого. Якість функціонування залежить від безлічі факторів, таких як злагожденість колективу, сумісність його членів, структура зв'язків у колективі, розподіл функцій і так далі"[2].

При аналізі результатів навчання методом взаємонавчання з'являється проблема оцінки діяльності студентів в бригаді. Позитивний результат багато в чому залежить від правильності розподілу ролей між членами бригади студентів, від того наскільки неформальна структура бригади збігається з формальною.

Для врахування цих факторів, найбільш оптимальний варіант скористатися соціометричним методом. Соціометричний метод є найбільш ефективним способом групової оцінки кожного кандидата в бригаду. Як і кожен метод, він має сильні і слабкі сторони. Позитивним є те, що соціометричні дослідження дають результати у формі кількісних індексів у сфері, що вважалася традиційно не формалізуємою і придатний для малих груп (до 40 осіб.)

До позитивних моментів, що цікавлять нас, також відноситься можливість застосування системно-структурного аналізу та моделювання, можливість за короткий час зібрати значний за обсягом матеріал.

Соціометричний метод полягає в наступному: членам підгрупи пропонуються питання, для визначення їх взаємин і оцінок їх якостей. В результаті визначаємо хотіли, або не хотіли б вони займатися в одній бригаді з конкретним студентом. За підсумками соціометричного опитування складається матриця, в вертикальні стовпці якої поміщають

прізвища (номера) тих, «хто вибрав», а в горизонтальні рядки - тих, «кого вибрали».

Значення +1 означає позитивний вибір, - 1 - негативний вибір, 0 - відсутність вибору. Результати у таблиці 1. У підсумку по стовпцю отримаємо сумарну картину для конкретного студента. По таблиці 1 можна порахувати узагальнений соціометричний показник. Якщо він позитивний і високий, то вважається, що в групі хороша психологічна сумісність. У нашому випадку він дорівнює 31.

За результатом опитування підгрупи студентів складаємо матрицю X, аналогічно таблиці 1, але в осередках змінна x_{ij} , дорівнює:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j\text{-й студент обрав } i\text{-го студента,} \\ 0, & \text{якщо } j\text{-й студент не обрав } i\text{-го студента.} \end{cases}$$

Таблиця 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1	1	0	-1	-1	1	-1	0	0	1	1
2	1		0	1	-1	0	1	-1	-1	0	1	0
3	0	0		1	0	0	0	1	-1	1	1	0
4	1	0	0		0	1	1	0	0	0	0	1
5	0	1	0	0		0	1	1	1	1	0	-1
6	0	1	1	1	1		0	-1	0	0	-1	1
7	-1	0	1	0	0	-1		1	0	-1	0	0
8	1	1	0	0	-1	0	0		0	1	-1	1
9	0	1	1	1	1	-1	0	0		0	0	0
10	0	0	1	0	-1	-1	1	0	1		1	1
11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1		-1
12	1	0	-1	-1	0	-1	1	1	1	1	1	

Використовуючи алгоритм задачі про лідера, відносний коефіцієнт "дружелюбності" для кожного студента розраховується за формулою:

$$K_i^1 = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij}} \quad i=1,2,...,n;$$

де n - число студентів в групі; x_{ij} - елементи матриці X;

У чисельнику сума одиниць (голосів) поданих за i - го студента ділиться на загальну суму одиниць. Чим більше коефіцієнт "дружелюбності" студента, тим більше він затребуваний в бригаді для взаємонавчання.

Висновки. Як показав експеримент, бригади різної структури вимагають різного підходу. У них різні алгоритми навчання. Для правильного формування бригади можна використати соціометричний метод. Результат опитувань занести у спеціальну таблицю, обчислити узагальнений соціометричний показник. Якщо він низький, та ще й від'ємний, то від використання методу взаємонавчання для цієї групи, краще відмовитись. В такій групі дуже складно сформувати бригади з хорошою соціально-психологічною сумісністю членів. Зрозуміло, що результат навчання буде гіршим. Використовуючи таблицю 1, можна автоматизувати аналіз та вибір членів бригади, враховуючи хто кого вибрав. Правильно сформовані бригади забезпечать ефективне використання методу взаємонавчання.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Вдовиченко І.Н. Колективна наукова монографія «Сучасний педагог». — Дніпро: Акцент ПП, 2020. — 236с.
2. Стенин А.А. Автоматизированные обучающие системы (анализ и синтез). Научная монография. — Луганск: ВУНУ, 2000. — 109с.
3. Баранник Н.С., Горбатюк В.Ф. Взаимное обучение как модификация парного обучения. /Н. Баранник, В. Горбатюк. // Фундаментальные исследования. 2012. № 6-2. С. 350-354.

REFERENCES

1. Vdovychenko I. N. Collective scientific monograph "Modern Teacher". — Dnieper: Accent of state of emergency, 2020. — 236 pages.
2. Stenin A. A. The automated training systems (the analysis and synthesis). Scientific monograph. — Luhansk: VUNU, 2000. — 109 pages.
3. Barannik N.S., Gorbatyuk V. F. Mutual training as modification of pair training. /N. Barannik, V. Gorbatyuk. //Basic researches. 2012. No 6-2. Page 350 354.

Received 06.02.2020.

Accepted 10.02.2020.

Формирование групп для использования метода взаимного обучения

Представлен метод взаимного обучения. Обоснована целесообразность его внедрения. Отмечено, что способу формирования группы студентов для метода взаимного обучения уделяется мало внимания. Рассмотрены характерные показатели, которые влияют на формирование групп. В работе представлены результаты эксперимента по формированию схем взаимодействия студентов в бригадах взаимного обучения. Для правильного подбора студентов в группы предложено использовать социометрический метод.

Formation of the DLYA groups of use of a method of mutual training

Analysis of the last researches and publications. Within the last decades collective ways of training are used that embodied experience of the Ukrainian teachers - V.K. Dyachenko and O. G. of a ryvin. V.V. Kotova's researches, G.A. Zuckerman, O.G. Yaroshenko and others gave the significant contribution to development of the general principles of the organization of group and collective work. The ideas of mutually training gain more and more distribution at the systems of training of the different countries of the world because open opportunities for cooperation, communication, promote achievement of the highest results of assimilation of knowledge and abilities.

Research objective. Paying attention methodical material, subject of tasks, helpers for mutual training, educational dialogue, mutual the analysis of answers and actions, to discussion of tasks, in our opinion, unfairly not enough attention is paid an image formation of the working groups for mutually training. To investigate dependences of success of training on various ways of formation of groups, according to us, the problem ripened.

Statements of the main material of a research. Influence on student's groups for a mutual learning, except progress and abilities of students, it is necessary to consider also their psychological compatibility, rate of digestion of material, temperament other. Characteristic indicators which influence formation of groups are analysed.

For a research of influence of an image of formation of the working groups on results of mutually training made a scientific experiment. In work it is offered a way of formation of groups of crews. 2 schemes of formation of groups were offered. Each of schemes studied on different algorithms. For the correct selection of students in groups it is offered to use a sots_ometrichny method.

Conclusions. As showed an experiment, crews of various structure demand different approach. After calculation of the general sociometric indicator, it is possible to draw a conclusion about social and psychological compatibility of members of the group. Crews are correctly created will provide effective use of a method of mutually training.

Вдовиченко Ирина Никифоровна - доцент Криворожского национального университета.

Вдовиченко Ірина Никифорівна - доцент Криворізького національного університету.

Vdovychenko Irina - associate professor of Kryvyi Rih National university.

О.Ю. Рудик, О.В. Диха

SOLIDWORKS ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ЗАСІБ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН АВТОМОБІЛЬНОГО ПРОФІЛЮ

Анотація. Розроблена методика, яка використовує SolidWorks як засіб навчання з технічних дисциплін автомобільного профілю: твердотільне 3D проектування й моделювання вузлів і деталей автомобільної техніки та пристосувань на перших курсах навчання (SolidWorks); міцнісні, стійкісні, втомні та інші інженерні розрахунки цих вузлів і деталей – на наступних (SolidWorks-додатки).

Ключові слова: автомобільний транспорт, інформаційні технології, SolidWorks, проектування, моделювання, методика.

Спеціальність “Автомобільний транспорт” є пріоритетною в Україні та світі. Розвиток автомобільного транспорту потребує підготовки висококваліфікованих інженерів даної спеціальності. Професійна підготовка інженера — це загальнонаціональна задача, від вирішення якої залежить подальший розвиток всієї країни. Її головне завдання – забезпечення якості технічної освіти на основі збереження її фундаментальності та відповідності актуальним і перспективним потребам особистості, суспільства й держави [1].

Необхідність модернізації інженерної освіти обумовлена рядом об’єктивних чинників: зростаючий темп технічного прогресу, швидкі технологічні зміни у промисловому виробництві, пріоритети підвищення його ефективності.

Діяльність інженерів у сучасній професійній реальності носить багатофункціональний характер. Вона включає проектування технологічних процесів і вибір технологічного устаткування, контроль за правильною експлуатацією техніки, раціональну організацію взаємодії людей і техніки, підвищення ефективності її використання тощо. Швидка зміна технологій вимагає постійного перенавчання технічних

спеціалістів. Тому задача підвищення ефективності та якості вищої інженерної освіти у даний час актуальна, як ніколи.

Традиційна в основному лекційно-семінарська система викладання повинна змінитися більшою самостійністю студентів у досягненні результатів освітнього процесу, активними формами навчання. Такі зміни дозволять готувати спеціалістів, здатних швидко адаптуватися до змін у вибраній галузі, проявляти ініціативу, брати на себе відповідальність за ухвалені рішення, ефективно працювати в команді [1].

Сучасна освіта, яка ґрунтується на інформатизації учбового процесу, змінює його структуру та зміст: робить можливим упровадження дистанційного навчання, використання нових навчальних програм, електронних баз даних, а також дозволяє використовувати інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), застосування яких в учбовому процесі пов'язане з упровадженням CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM-систем і засобів інформатики у методологію навчання.

Головною особливістю сучасної графічної підготовки інженерів спеціальності “Автомобільний транспорт” є 3D моделювання, оскільки на всіх стадіях життєвого циклу деталей автомобілів присутні інформаційні моделі. При необхідності 3D модель перетворюється у 2D модель, тобто креслення виробу. До таких систем автоматизованого проектування (САПР), орієнтованих на вирішення задач в області технічної механіки і машинобудування, відносяться програмні комплекси PCAD, Accel EDA, LabView, AutoCAD, PiCad, ArhiCAD, Компас, Inventor, SolidWorks, T-FLEX, Pro/Engineer, CATIA, ANSYS, FEMAP, ADAMS, Simatron, T-Flex, APM WinMachine тощо [2]. Але універсальної конфігурації графічної робочої станції для оптимальної роботи з CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM-додатками не існує: у зв'язку з різною складністю програм їх необхідно підбирати індивідуально (під завдання).

На наш погляд, використання у навчанні ІКТ, відповідних світовому рівню, – єдино можливий сьогодні шлях поступального розвитку вітчизняної системи освіти, і, в першу чергу, вищої школи [2]. Тому

була розроблена методика, яка використовує єдиний інструмент – базову систему SolidWorks, як засіб навчання з усіх технічних дисциплін освітньо-професійної програми за спеціальністю “Автомобільний транспорт”: твердотільне 3D проектування на перших курсах навчання (SolidWorks) [3-10], інженерні розрахунки (додатки SolidWorks) – на останніх [12-24].

Причиною подібного вибору є те, що легкість інтеграції цього програмного продукту в систему CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM у рамках створення єдиного інформаційного середовища підприємства на основі CALS (PLM) технологій забезпечує широкі можливості у вивченні студентами різноманітних аспектів автоматизації проектування. Достатньо широке розповсюдження на підприємствах Хмельницької області гарантує затребуваність набутих студентами навичок на виробництві. Важливою причиною вибору базовим продуктом SolidWorks є наявність у компанії “SolidWorks Corporation” програми підтримки навчальних закладів, учасником якої є Хмельницький національний університет. Програма передбачає регулярне оновлення системи, технічну підтримку та методичне забезпечення [11].

SolidWorks володіє двома рівнями функціональних залежностей: перший забезпечує зв'язок між параметрами моделі при перерахунку їх значень, другий – зв'язок із САПР при відновленні виробу відповідно до отриманих значень параметрів. Комбінація цих двох видів залежностей дозволяє добиватися надзвичайних результатів, фактично не обмежуючи гнучкість одержуваної моделі.

Для зручності навігації по моделі й задання зв'язків між параметрами надані інструменти допоміжної візуалізації засобами САПР. Система параметризації має достатній набір інструментів для складання моделі й одержання на її основі виробу з необхідними значеннями розмірів, конструктивних, фізичних та інших параметрів.

SolidWorks – це також: проектування деталей та складань будь-якого ступеня складності та призначення, виробів з листового металу, зварних конструкцій автомобілів, оснастки (прес-форми, штампи, електроди); промисловий дизайн; складні поверхні; перевірка

працездатності розроблених конструкцій; випуск креслень відповідно до вимог ЄСКД; робота з великими складаннями; пряме редагування геометрії; проектування на основі баз знань; експертні системи проекту; аналіз технологічності виробів (механічна обробка, лиття); створення анімацій на основі 3D моделей; бібліотеки стандартних виробів SolidWorks Toolbox, у т.ч. за вітчизняними стандартами; інтерактивна документація (створення фотореалістичних зображень, WEB сторінок та анімацій на основі 3D моделей); проектування трубопроводів; аналіз розмірних ланцюгів в 3D моделі складання; обмін даними з радіотехнічними САПР.

Додатками цієї програми є SolidWorks Simulation, SolidWorks Motion, SolidWorks Flow Simulation, SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module, SolidWorks Flow Simulation HVAC Module, SolidWorks Plastics, eDrawings, SolidWorks Sustainability. В усі вищенаведені додатки створені у SolidWorks моделі експортуються без будь-яких обмежень.

Розглянемо, наприклад, можливості SolidWorks Simulation: розрахунки на міцність конструкцій у пружній зоні; постановка та розв'язок контактних задач; розрахунки складань; визначення власних форм і частот коливань; розрахунки конструкцій на стійкість і втому; імітація падіння; теплові й нелінійні розрахунки (врахування нелінійних властивостей матеріалу та навантаження, розрахунки нелінійних контактних задач); аналіз втомних напружень і визначення ресурсу роботи конструкцій; лінійна та нелінійна динаміка деформованих систем (на рис. 1 і 2 наведені вікна діалогу при проведенні досліджень у SolidWorks Simulation);

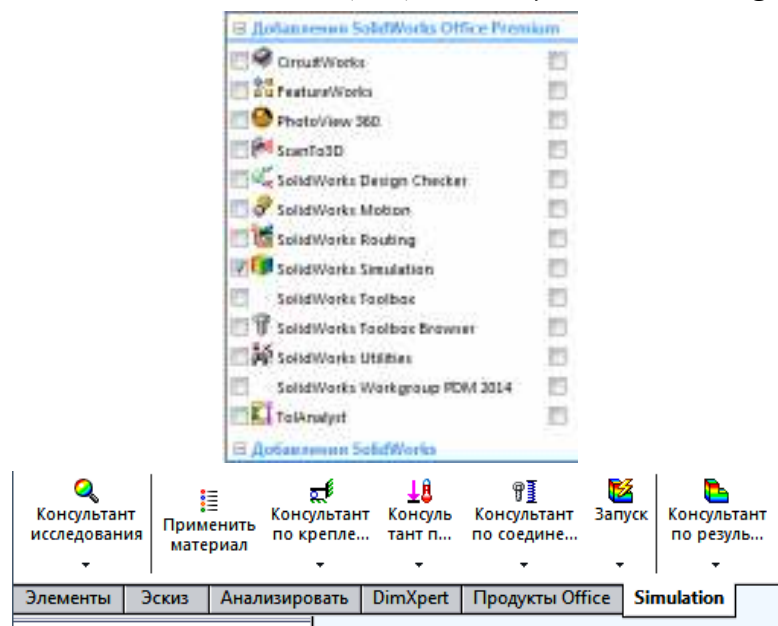


Рисунок 1 – Створення проекту в середовищі SolidWorks (вікно діалогу вибору додатку та кроків роботи у SolidWorks Simulation)

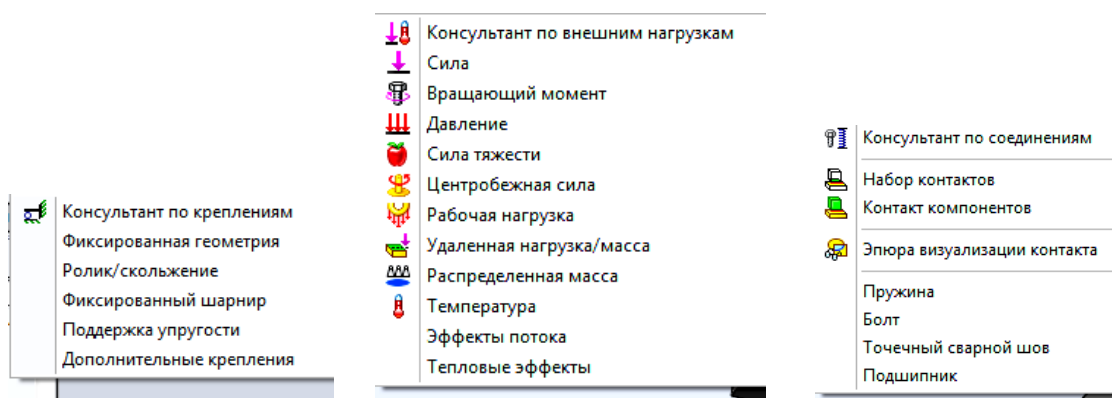


Рисунок 2 – Вікна діалогу SolidWorks Simulation

Важливий елемент у комплекті SolidWorks – програма DWGeditor. За функціональністю вона є повним аналогом AutoCAD і володіє можливістю працювати з форматом DWG. Це значно полегшує перехід від двовимірного креслення до тривимірного моделювання.

Застосування SolidWorks як інноваційного засобу вивчення дисциплін спеціальності “Автомобільний транспорт” починається з дисципліни “Інженерна і комп’ютерна графіка” [4-7] (рис. 3).

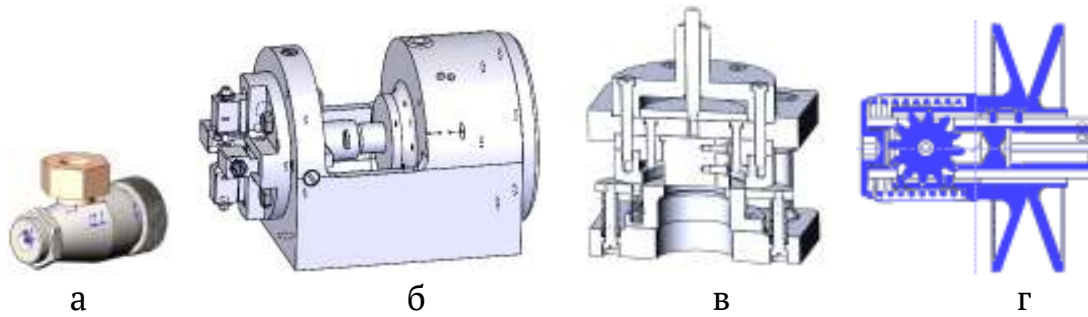


Рисунок 3 – Форсунка (а), пристосування для хрестового обтиску прутка (б), штамп для виготовлення пластин (в), клинопасовий варіатор (г)

У SolidWorks створюються ескізи деталей й тіл обертання з використанням додаткових площин, проводиться перетин поверхонь, будуються ребра жорсткості в деталях і створюються в них масиви й різьбові з'єднання, проводиться складання деталей з наступним формуванням креслення і тривимірних моделей за двовимірним кресленням геометричних об'єктів тощо.

Таким чином, у SolidWorks поєднуються в одному складанні різнотипні деталі й підскладання, створюються складальні одиниці. Вбудовані засоби оформлення креслення допускають відслідковувати асоціативний зв'язок між моделлю та її кресленням: після створення твердотільної моделі автоматично отримуються робочі креслення деталі або складання із зображеннями основних видів, проекцій, проставлянням розмірів й позначень. На основі отриманих знань, умінь й навичок роботи у SolidWorks відбувається подальше поглиблене вивчення можливостей тривимірного проектування, яке використовується у дисципліні “Деталі машин” [8-10] – рис. 4:

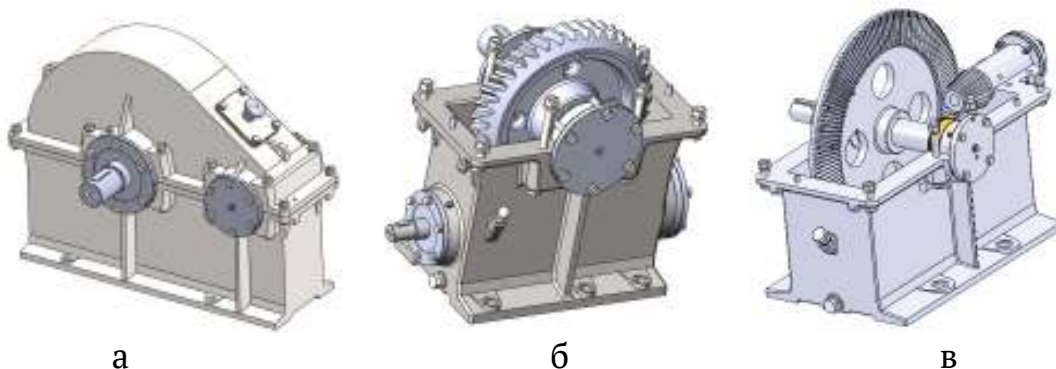


Рисунок 4 – Закриті передачі: косозуба циліндрична (а), черв'ячна (б), прямозуба конічна (в)

проводяться розрахунки загальних характеристик привода, передач, валів; підбір підшипників і шпонок; проектування оболонки редуктора й конструювання деталей передач, складання редуктора. При цьому SolidWorks дозволяє створювати конструкції редукторів, які не тільки б виконували призначену функціональну роботу, але й задовольняли необхідним умовам міцності. Особливістю застосування SolidWorks Simulation є перевірка виконаних методами прикладної механіки розрахунків.

При вивченні дисципліни “Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту” [12-17] крім деталей автомобільної техніки проектуються і розраховуються нестандартні інструменти для розбірно-складальних робіт, пристосування тощо (рис. 5).

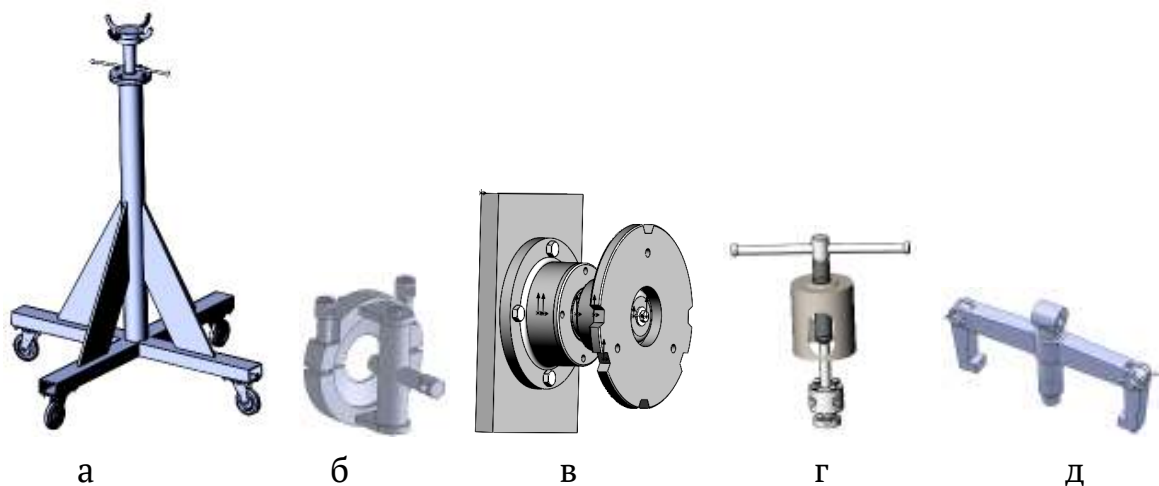


Рисунок 5 – Трансмісійна стійка для підйому й переміщення вантажів при монтажі й демонтажі вузлів та агрегатів з автомобілів (а), знімач шківів генератора (б), центрозміщувач для шліфування шатунних шийок колінчастого вала (в), знімач втулок зовнішніх балансирів кареток ходової частини тракторів (г), знімач підшипників кочення (г)

Обов'язковими елементами досліджень є аналіз напруженого стану моделі методом скінченних елементів для економії її матеріалу; визначення максимальних навантажень (з допущенням лінійного статичного аналізу), які може витримати змодельована деталь при заданому мінімальному (допустимому) коефіцієнті запасу міцності не руйнуючись;

можливість заміни матеріалу найбільш навантаженої деталі; дефініція можливої втрати стійкості моделі; розрахунки впливу зміни розмірів елементів деталі й видалення з неї матеріалу на коефіцієнт запасу міцності; дослідження ефекту від зміни напрямку сили на протилежну тощо.

При вивченні дисципліни “Інформаційні технології на автомобільному транспорті” [19-24] у SolidWorks проектується, а в SolidWorks Simulation проводяться розрахунки деталей кривошипно-шатунних механізмів, систем змащування та охолодження ДВЗ, паливних систем, зчеплень, механізмів газорозподілу, деталей коробок передач, роздавальних коробок, карданних і головних передач й диференціалів, підвісок, рульового керування, гальмівних систем тощо (рис. 6), які реалізуються при міцнісних, стійкісних, втомних та інших розрахунках.

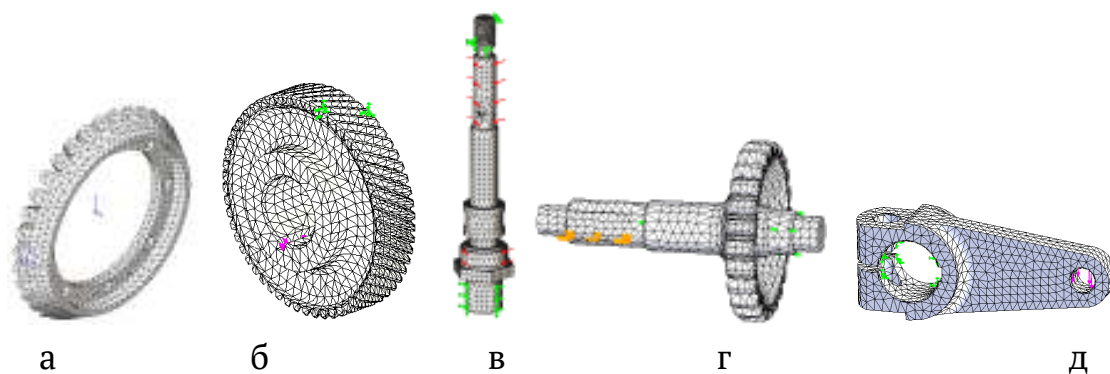


Рисунок 6 – Ведена шестерня заднього моста автомобіля МАЗ-509 (а), зубчасте колесо коробки передач автомобіля ЗІЛ-130 (б), вісь ротора водомасляного теплообмінника системи змащення дизельного двигуна СМД-31 (в), вал приводу переднього моста автомобіля УАЗ-3741 (г), важіль приводу ручного гальма автомобіля МАЗ 200 (д)

Застосування SolidWorks викликає підвищений інтерес творчими задачами, можливістю перевірити свої знання й одержати кваліфіковану пораду. Крім цього, SolidWorks збільшує можливості постановки навчальних задач і керування процесом їх виконання, втягує студентів у навчальний процес, сприяючи найбільш широкому розкриттю їх здібностей, активізації розумової діяльності.

Упровадження SolidWorks у вивчення дисциплін автомобільного профілю не тільки професійно орієнтує майбутніх працівників, дає глибоку підготовку за фахом, пов'язану із спадкоємністю у викладанні, але й сприяє активізації науково-дослідницької діяльності, підвищуючи гарантії подальшого працевлаштування випускників.

Таким чином, правильно поставлений і керований процес засвоєння студентами методів і засобів машинного проектування стимулює їх інтерес до глибшого і творчого вивчення фундаментальних і спеціальних дисциплін, що, в результаті, дозволить підняти на вищий рівень їх освітній та професійний рейтинг.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Боровик Л. В. Методичне впровадження CAD/CAE-систем у професійну підготовку інженера [Електронний ресурс] / Л. В. Боровик, О. Ю. Рудик, В. С. Боднаровський. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8417>
2. Рудик О. Ю. Шляхи модернізації вищої технічної освіти в Україні [Електронний ресурс] / О.Ю. Рудик, О.В. Гаврилюк. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8607>
3. Рудик О. Ю. Застосування SolidWorks у навчанні предметів технічного (інженерного) циклу [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. В. Герасімчук. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8713>
4. Рудик О. Ю. Оптимізація досліджень механічних характеристик засобами інформаційних технологій [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, Є. В. Криворучко. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6439>
5. Рудик О. Ю. Дослідження міцності поршня пристосування для хрестового обтиску прутка [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. І. Кирильчук. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6440>
6. Боровик О. В. Безперервність навчального процесу – основа якісної професійної освіти [Електронний ресурс] / О. В. Боровик, О. Ю. Рудик, Б. М. Золюк. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8398>
7. Rudyk O. Yu. The use of computers in scientific research [Electronic resource] / O.Yu. Rudyk, Yu.Yu. Vasyura. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8773>

8. Рудик О. Ю. Професійна компетенція – основа якості підготовки кваліфікованих спеціалістів [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, О. В. Коротков. – Режим доступу:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6441>
9. Рудик О. Ю. Застосування SolidWorks для проектування черв'ячного редуктора [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. М. Пендичук. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6452>
10. Рудик О. Ю. Інформаційні технології у викладанні курсу “Деталі машин” [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. Р. Стецюк. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6462>
11. Центр SolidWorks факультету інженерної механіки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://solidworks.com.ua>
12. Андрощук М. В. Використання SolidWorks для прогнозування міцності матеріалів [Електронний ресурс] / М. В. Андрощук, О. В. Диха, О. Ю. Рудик. – Режим доступу:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8468>
13. Рудик О. Ю. SolidWorks – CAD/CAE-система технічних вузів [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, П. В. Каплун. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8631>
14. Рудик О. Ю. Застосування SolidWorks Simulation для розрахунку знімача шківа генератора [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, А. Л. Старий. – Режим доступу:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8364>
15. Рудик О. Ю. Програмне забезпечення розрахунків у SolidWorks Simulation [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, М. С. Рябець. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8411>
16. Рудик О. Ю. Математичне моделювання та обчислювальні методи у статичному дослідженні упора знімача втулок [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. М. Качур. – Режим доступу:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6474>
17. Рудик О. Ю. Комп'ютерне проектування та моделювання знімача підшипників [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, С. М. Рогальський. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6455>
18. Диха О. В. Моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту: методичні вказівки до лабораторних робіт

для студентів напряму підготовки “Автомобільний транспорт” / О. В. Диха, О. Ю. Рудик // Хмельницький: ХНУ, 2018. – 102 с.

19. Рудик О. Ю. Інформаційні технології у розрахунках деталей автомобілів [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, П. С. Лисенко. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8513>

20. Рудик О. Ю. Застосування інформаційних технологій при розрахунку водомасляного теплообмінника системи змащення дизельного двигуна СМД-31 [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, О. В. Парацій. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6436>

21. Рудик О. Ю. Дослідження вала приводу переднього моста автомобіля УАЗ-3741 за допомогою SolidWorks і MathCAD [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, О. В. Алексєєв. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8362>

22. Рудик О. Ю. Дослідження міцності важеля приводу ручного гальма автомобіля МАЗ 200 [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. Б. Самсонович. – Режим доступу: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8365>

23. Рудик О. Ю. Дослідження міцності деталей автомобілів за допомогою SolidWorks Simulation [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, Г. В. Садовський. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/11682>

24. Диха О. В. Інформаційні технології на автомобільному транспорті: методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О. В. Диха, О. Ю. Рудик // Хмельницький: ХНУ, 2019. – 49 с.

REFERENCES

1. Borovyk L. V. Methodical implementation of CAD/CAE-systems in the professional training of engineer [Electronic resource] / L. V Borovyk, O. Yu. Rudyk, V. S. Bodnarovsky. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8417>

2. Rudyk O. Yu. Ways of modernization of higher technical education in Ukraine [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, O. V. Havrylyuk. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8607>

3. Rudyk O. Yu. SolidWorks application in teaching subjects of technical (engineering) cycle [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. V. Gerasimchuk. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8713>

4. Rudyk O. Yu. Optimization of studies of mechanical characteristics by means of information technologies [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, E. V. Kryvoruchko. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6439>
5. Rudyk O. Yu. Research of durability of piston of adaptation for the cross compression of the bar [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. I. Kyrylchuk. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6440>
6. Borovyk O. V. Continuity of the educational process - the basis of quality vocational education [Electronic resource] / O. V. Borovyk, O. Yu. Rudyk, B. M. Zolyuk. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8398>
7. Rudyk O. Yu. The use of computers in scientific research [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, Yu. Yu. Vasyura. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8773>
8. Rudyk O. Yu. Professional competence – the basis of the quality of training of qualified specialists [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, O. V. Korotkov. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6441>
9. Rudyk O. Yu. SolidWorks application for planning worm gearbox [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. M. Pendychuk. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6452>
10. Rudyk O. Yu. Information technologies in teaching the course “Machine parts” [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. R. Stetsyuk. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6462>
11. SolidWorks center of the faculty of engineering mechanics [Electronic resource]. – Access mode: <http://solidworks.com.ua>
12. Androshchuk M. V. Using of SolidWorks for prognostication of durability of materials [Electronic resource] / M. V. Androshchuk, O. V. Dykha, O. Yu. Rudyk. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8468>
13. Rudyk O. Yu. SolidWorks – CAD/CAE system of technical universities [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, P. V. Kaplun. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8631>
14. Rudyk O. Yu. SolidWorks Simulation application for calculation of puller of pulley of generator [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, A. L. Staryi. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8364>

15. Rudyk O. Yu. Software for calculations in SolidWorks Simulation [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, M. S. Ryabets. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8411>
16. Rudyk O. Yu. Mathematical modeling and computational methods in static study of the support of the bushing puller [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. M. Kachur. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6474>
17. Rudyk O. Yu. Computer design and simulation of bearing puller [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, S. M. Rogalsky. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6455>
18. Dykha O. V. Modeling of technological processes of road transport enterprises: methodical instructions for laboratory work for students of the field of preparation for road transport / O. V. Dykha, O. Yu. Rudyk // Khmelnytsky: KhNU, 2018. – 102 p.
19. Rudyk O. Yu. Information technologies in the calculation of car parts [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, P. S. Lysenko. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8513>
20. Rudyk O. Yu. Application of information technologies in the calculation of a water-oil heat exchanger of the lubrication system of the diesel engine SMD-31 [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, O. V. Paratsi. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6436>
21. Rudyk O. Yu. Investigation of the shaft of the drive front bridge of the UAZ-3741 car using SolidWorks and MathCAD [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, O. V. Alekseev. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8362>
22. Rudyk O. Yu. Investigation of the durability of the MAZ 200 handbrake [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, V. B. Samsonovych. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8365>
23. Rudyk O. Yu. Investigation of the strength of cars parts by SolidWorks Simulation [Electronic resource] / O. Yu. Rudyk, G. V. Sadovskyi. – Access mode: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/11682>
24. Dykha O. V. Information technologies in road transport: methodological instructions for laboratory work for students of specialty 274 "Motor transport" / O. V. Dykha, O. Yu. Rudyk // Khmelnytsky: KhNU, 2019. – 49 p.

Received 03.02.2020.

Accepted 10.02.2020.

SolidWorks як інноваційний засіб вивчення дисциплін автомобільного профілю

Запропонована методика використання SolidWorks як засобу навчання технічних дисциплін автомобільного профілю: твердотільне 3D проектування й моделювання вузлів і деталей автомобільної техніки та пристосувань на перших курсах навчання; міцнісні, стійкісні, втомні та інші інженерні розрахунки цих вузлів і деталей – на наступних (SolidWorks-додатки). У SolidWorks створюються ескізи деталей автомобільної техніки, проводиться їх складання з наступним формуванням креслень і тривимірних моделей. У SolidWorks Simulation здійснюються розрахунки цих деталей. При цьому запропонована методика передбачає поетапне засвоєння нового матеріалу, його повторення та закріплення, застосування на практиці.

SolidWorks as an innovative means for studying the disciplines of automobile profile

Improving the quality of training of specialists in higher education institutions is inextricably linked to the issues of innovation, the introduction of modern technologies in the educational process and the solution of problems of automation of education on the basis of international standards of the ISO series, which allow the development and implementation of new and more efficient methods of calculation and optimization of details, in particular, automotive technology and the car's overall system. At all stages of the life cycle of designing and modeling of components and parts of cars there are information models, the use of which in the educational process is related to the introduction of CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM-systems and tools of informatics in the methodology of training. The main feature of modern graphic training of automotive engineers is 3D modeling. Therefore, the purpose of the study was to use the 3D SolidWorks Solid State Parametric Modeling System as an innovative means of studying the subjects of the specialty "Automobile Transport" – developed a technique that uses this software as a means of training in the technical disciplines of automotive profile: solid 3D design and modeling of components and parts of automotive technology and first-year gadgets (SolidWorks); durable, fatiguing and other engineering calculations for these assemblies and parts are as follows (SolidWorks applications). SolidWorks creates sketches of parts and bodies of rotation using additional planes, intersects surfaces, constructs ribs in parts and creates arrays and threaded joints, assembles parts with the subsequent formation of drawings and three-dimensional models by two-dimensional drawing of geometric objects etc. SolidWorks Simulation calculates engineered parts: crank mechanisms, engine lubrication and cooling systems, fuel systems, clutches, gas distribution mechanisms, gearbox parts, gearboxes, driveshafts and transmissions, suspension, steering which are implemented in durability, stability, fatigue and other calculations. In this case, the proposed methodology involves the gradual development of new material, its repetition and consolidation, application in practice.

Рудык А.Е. – доцент, к.т.н., кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет.

Дыха А.В. – професор, д.т.н., завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет.

Рудик О.Ю. – доцент, к.т.н., кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет.

Дыха О.В. – професор, д.т.н., завідувач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет.

Rudyk O.Yu. – associate professor, candidate of technical sciences, department of tribology, automobiles and materials science, Khmelnytsky national university.

Dykha O.V. – professor, doctor of technical sciences, head of the department of tribology, automobiles and materials science, Khmelnytsky national university.

G.G. Shvachych, V.S. Konovalenkov, O.V. Ivaschenko, L.F. Sushko

DEVELOPMENT OF PARALLEL STRUCTURES OF DIFFERENTIAL TASKS OF MATHEMATICAL PHYSICS

The paper is devoted to the construction of parallel forms of mathematical models of a tridiagonal structure. Two methods of discretization of differential problems are considered by the example of solving the mathematical physics equation. Moreover, the application of the numerical-analytical straight line method and sweep methods to parallelization of mathematical models with a tridiagonal structure allows constructing its exact node-by-node solutions with the maximum parallel form and the least implementation time on parallel computing devices. This paper proposes to apply finite-difference and numerical-analytical methods in combination with the splitting method as a methodological basis for constructing numerical methods for solving such problems. The splitting method provides an economical and sustainable implementation of numerical models by the scalar sweep method. For such systems, acceptable acceleration in most cases is achieved by parallelizing operations in the corresponding sequential method, forming linear sections.

It is convenient to implement the parallelization algorithm and its mapping to parallel computing systems on the two schemes proposed in this paper: finite-difference and numerical-analytical. This approach allows arranging separate determination of the thermophysical characteristics of the structures' material, i.e. allows obtaining solutions of coefficient and other inverse problems of thermal conductivity.

The proposed approach to the development of methods, algorithms and software can be applied in various branches of metallurgical thermal physics, economics, as well as for environmental problems of the metallurgical industry.

Keywords: multiprocessor computing systems, mathematical models, parallel forms, thermal modes, sweep method, numerical-analytical method, tridiagonal structure

Introduction. A theoretical study of the process of heat and mass transfer is largely based on their numerical simulation using modern computer technology. However, with parallel computing tools development, fundamental problems disappear in a potentially infinite increase in their peak

performance. Parallel computing systems are developing very fast, and with the advent of computing clusters, parallel computing has become available.

To build such systems, as a rule, there is used mass processors, standard network technologies, and freely distributed software [1- 3]. It is these circumstances that allowed solving the so-called large problems of metallurgical thermophysics [4-6]. In metallurgical production, one faces many diverse and interconnected processes. Most of these processes (heat and mass transfer, hydrodynamic processes in melts, as well as a change in the state of substance aggregation, deformation phenomena under force and thermal loads, etc.) can be described on the basis of differential equations of continuum mechanics that reflect objective laws of the mass, momentum and energy conservation.

In mathematical terms, these are systems of multidimensional nonlinear differential equations, which along with the laws of chemistry and thermodynamics describe interrelated processes, as well as their interaction [7-9].

Modern computational methods and modern computers allow these days to carry out detailed parametric studies of mathematical models of very complex physical processes, or, as they often say, to conduct the so-called computational experiment.

Analysis of recent research and publications. Recently, in the theory and practice of studying various heat transfer processes, in thermal design and simulation of the thermal regimes of technical systems, a new direction of research has been intensively developing, based on principles of solving inverse heat transfer problems [10-13]. These methods were especially widely used in the experimental study of unsteady thermal processes accompanying the operation of heat-loaded aggregates and systems of space and descent aircraft, launch carriers, and various heat engines; in determining the thermophysical characteristics of materials, building and adjusting mathematical thermal models of technical systems and in a number of other cases.

We note that at present the inverse problems of metallurgical thermophysics are formulated from the cause-effect relationships' point of view. Bringing them to extreme settings allows defining their solutions as optimal control problems. After defining direct mathematical models and introducing

the functional into the model according to the residual principle, the desired solution to various inverse problems is characterized only by unknown control parameters.

The usual results of a thermophysical experiment are now processed with respect to the requirements of statistics and the theory of scientific design of the experiment, since these results are statistical values. Currently, a simplified method for solving inverse problems of thermodynamics for non-stationary modes has been developed, which minimizes the functional for solving direct problems with minimizing many variables function. It is this circumstance that allows unifying the developed algorithms with regard to the causal characteristics of heat transfer processes and environmental dynamics in the problems of metallurgical thermophysics of ecology. To a large extent, this contributes to the integration of individual inverse problems solutions in the form of a set of programs.

The aim of the research is to construct the most parallel forms of mathematical models of a tridiagonal structure. The application of the numerical and analytical direct method and sweep methods for such systems parallelizing allow designing its solutions having the maximum parallel form and, therefore, the least time for its implementation on parallel computing devices.

The proposed approach to the development of methods, algorithms and programs is original and can be applied in various branches of metallurgical thermophysics, as well as environmental problems of the metallurgical industry.

Key research findings. Numerical simulation of heat and mass transfer processes is becoming increasingly important as modern science and technology require data on such processes, which experimental study in laboratory or field conditions is quite difficult and expensive, and in some cases simply impossible. This paper proposes application of finite-difference and numerical-analytical methods in combination with the splitting method as a methodological basis for constructing numerical methods for solving such problems. The splitting method provides with an economical and sustainable implementation of numerical models by the scalar sweep method. For such sys-

tems, acceptable acceleration in most cases is achieved by parallelizing operations in the corresponding sequential method, forming linear sections.

The adoption, as a methodological basis for differential problems discretization for difference splitting schemes of multidimensional spatial problems of the theory of heat and mass transfer, first of all, provides an economical and stable implementation of numerical models by the scalar sweeps method related to problems of linear algebra [10, 11]. And, secondly, it is known that the greatest effect of a parallel processor is achieved when it is used to perform linear algebra matrix computations [10].

Let us consider two methods of differential problems discretization by the example of solving the simplest scalar equation of mathematical physics:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}, \quad x \in [x_0, x_L], t \in [t_0, T] \quad (1)$$

with initial

$$Y_{|t=t_0} = Y_0(x) \quad (2)$$

and boundary conditions of the first kind

$$Y_{|x=x_0} = Y_W(t), Y_{|x=x_L} = Y_L(t). \quad (3)$$

The definition domain of the desired function is comparable to the net domain

$$t_j = J \cdot Dt, J = \overline{1, M}, Dt = T / M, M \in \mathbf{Z}, \\ x_p = p \cdot Dx, p = \overline{0, 2m}, Dx = (x_L - x_0) / 2m, \mu \in \mathbf{Z} \quad (4)$$

The simplest implicit time scheme and central differences along the x coordinate lead to systems of linear algebraic equations (SLAE):

$$C_P Y_{p+1,1} - Y_{p,1} + D_P Y_{p-1,1} = f_{p,1}, \quad p = \overline{1, 2m-1}, \quad (5)$$

wherein

$$\left. \begin{aligned} C_p &= D_p = \frac{A}{(1+2A)}, \quad A = \frac{\alpha}{Dx1^2} D\tau1, \\ f_{p,1} &= -\frac{Y_{O_{p,1}}}{(1+2A)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

In algorithm (5), (6) $Y_{0,1} = YW(t_j)$, $Y_{2m,1} = YL(t_j)$ are the known boundary functions, $Y_{O_{p,1}}$ is the initial vector function.

The SLAE (5) has a tridiagonal structure, and its solution is quite simply implemented recursively using direct sweep equations:

$$E_p = \frac{C_p}{1 - D_p E_{p-1}}, \quad G_p = \frac{D_p C_{p-1} - f_{p,1}}{1 - D_p E_{p-1}}, \quad (7)$$

wherein

$$E_0 = O, \quad G_0 = Y_{0,1} = YW(t_y) \quad (8)$$

which ensures its start.

Inverse sweep equation:

$$Y_{p,1} = E_p Y_{p+1,1} + G_p, \quad Y_{2m,1} = YL(t_0) \quad (9)$$

is realized by index p from $p = 2m-1$ to $p = 1$.

This problem solution by the direct method also leads to SLAE (5), but with a different functional content:

$$\left. \begin{aligned} C_p &= \frac{S\eta\beta(1)}{S\eta\beta(2)} = D_p, \\ f_{p,1} &= C_p Y_{p+1,1}^* - Y_{p,1}^* + D_p Y_{p-1,1}^*, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

wherein $Y_{p+\varepsilon_X,1}^* (\varepsilon_X = O, \pm 1)$ are particular solutions of the inhomogeneous equation:

$$Y_{p+\varepsilon_X,1}^* - \frac{1}{A} Y_{p+\varepsilon_X,1} (\varepsilon_X) = -\frac{1}{A} Y_{O_{p+\varepsilon_X,1}} (\varepsilon_X) \quad (11)$$

Note that here:

$$\varepsilon_X = \frac{x - x_P}{x_{P+1} - x_P} \in [-1, +1] \quad (12)$$

is the normalized spatial variable, $\alpha = \beta$ are the roots of the characteristic equation.

$$\beta^2 - \frac{1}{A} = 0 \quad (13)$$

The a priori information used in this case is a proposal for a piecewise - analytical dependence of the desired solution with respect to the spatial variable. Since the concretization of the form of a particular solution $Y_{P+\varepsilon_{X,1}}^*(\varepsilon_X)$ is inevitably associated with specific form of initial functions $YO_{P+\varepsilon_{X,1}}(\varepsilon_X)$ (11), when taking a quadratic dependence for them.:

$$YO_{P+\varepsilon_{X,1}}(\varepsilon_X) = YO_{P,1} + \varepsilon_X YO_{P,2} + \varepsilon_X^2 YO_{P,3}, \quad (14)$$

wherein

$$\left. \begin{aligned} YO_{P,2} &= \frac{1}{2}(YO_{P+1,1} - YO_{P-1,1}) \\ YO_{P,3} &= \frac{1}{2}(YO_{P+1,1} - YO_{P-1,1} - 2YO_{P,2}) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

we see that the constructed solution becomes piecewise analytic on the entire set of p -nodes of the grid domain. The construction of particular solutions under this assumption is realized quite simply by standard methods.

Implementing the sweep algorithm by formulas (7) - (9), the solution of SLAE in the proposed formulation (10) - (15) allows defining values of net functions $Y_{P,1}$ in explicit form only as functions of a net node.

The above two schemes: finite-difference (5), (6) and numerical-analytical (5), (10) - (15) allows convenient implementation of an algorithm for parallelization and mapping onto parallel computing systems. In addition, this approach allows separate determination of the thermophysical characteristics of the structures' material, i.e. provides solutions to coefficient- and other inverse problems.

Conclusions and prospects for further research. The approach proposed in this paper for constructing parallel forms of mathematical models of a tridiagonal structure in the development of methods, algorithms, and programs is original and can be used in various branches of metallurgical thermophysics, as well as environmental problems of the metallurgical industry.

Moreover, the adoption as a methodological basis for discretization of multidimensional differential problems of split separation schemes, first of all, provides an economical and stable implementation of numerical models by the scalar sweeps method, and secondly, it is known that the greatest effect from a parallel processor is achieved when it is applied to perform matrix computations of linear algebra.

The application of the numerical-analytical method of straight lines and sweep methods to parallelizing SLAE of a tridiagonal structure allows constricting its exact node-by-node solutions having the maximum parallel form and, hence, the least time for its implementation on parallel computing devices.

Further research should be aimed at studying the topology of the net areas. This will lead to parallelization of SLAE by permutations based on the “odd-even” reduction algorithm.

REFERENCES

1. Bashkov E.A., V. Ivashchenko, Shvachych G.G.: High-performance multi-processor system based on personal computing cluster", (In Ukrainian), Problems of modeling and design automation, Donetsk, DonNTU, vol. 9 (179), 2011, pp. 312 – 324.
2. V.P. Ivaschenko, N.I. Alishov, G.G. Shvachych, M.A. Tkach. Latest technologies based on use of high-efficient multiprocessing computer systems. Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. Baku, Azerbaijan. – Vol. 1. – Numb. 1: 44 – 51.
3. V.P. Ivaschenko, G.G. Shvachych, M.A. Tkach. Prospects of network interface infiniband in multiprocessor computer system for solving tasks of calculations' area spreading, System technologies. – № 2(91). – Dnipropetrovs'k: 32 – 43.
4. G.G. Scvachych, A.A. Shmukin. Features of the construction of parallel computing algorithms for the PC in the problems of heat and mass transfer. East-

ern European Journal of advanced technologies, . 2(8) 2004, pp. 42-47.

5. G.G Scvachych, A.A .Shmukin. On the concept of unlimited parallelism in heat transfer problems. Eastern European Journal of advanced technologies, . 3(9) 2004, pp. 81-84.

6. V.P. Ivaschenko, G.G. Shvachych, M.A. Tkach. Specifics of constructing of maximally parallel algorithmic forms of the solving of the appliend tasks. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць, № 2(91): 3 – 9.

7. G.G. Shvachych. Component system of numeral-analytical visualization of vectors decisions multiprocessor calculable complexes. IV International Conference [“Strategy of Quality in Industry and Education”]; May 30 – June 6, 2008; Varna; Bulgaria . – V. 2: 810-815.

8. V.P. Ivaschenko, G.G. Shvachych, A.A. Shmukin. Parallel computations and applied problems of metallurgical thermophysics, System Technology: Regional interuniversity collection of scientific works, 3 (56), 2008, pp. 123 - 138.

9. G.G. Shvachych, O.V. Ivaschenko, V.V. Busygin, Ye. Fedorov: Parallel computational algorithms in thermal processes in metallurgy and mining. Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychogo Universytetu, Scientific and Technical Journal, № 4 (166), 2018, pp. 129 – 137.

10. V. Ivaschenko, G. Shvachych, Ye. Kholod. Extreme algorithms for solving problems with higher order accuracy. Applied and fundamental research. Publishing House Science and Innovation Center, Ltd. (St. Louis, Missouri, USA), 2014, pp. 157–170.

11. P. Roache. Computational Fluid Dynamics. Hermosa Publs., Albuquerque, 1976, pp.446.

12. T.Y. Na. Computational methods in engineering boundary value problems. Moscow, 1982, pp. 296.

13. L.G. Loytsyanskiy. Liquid and gas mechanics. M.: Nauka. Gl.red. fiz.mat.lit., 1987, pp. 840.

Received 11.02.2020.

Accepted 13.02.2020.

Розробка паралельних структур диференціальних задач математичної фізики

Теоретичне дослідження процесів тепло - і масообміну значною мірою базується на їх чисельному моделюванні з використанням сучасних засобів обчислювальної техніки. Проте з розвитком паралельних засобів обчислювальної техніки зникають принципові проблеми в потенційно нескінченному збільшенні їх пікової продуктивності. Для побудови таких систем, як правило, використовується масові процесори, стандартні мережеві

технології й вільно поширюване програмне забезпечення. Саме ці обставини й дозволили розв'язувати так звані великі задачі металургійної теплофізики.

Робота присвячена конструюванню паралельних форм математичних моделей трьохдіагональної структури. Класичні методи розв'язку математичних моделей трьохдіагональної структури при використанні багатопроцесорних обчислювальних систем обробляються, як правило, набагато повільніше, ніж при застосуванні однопроцесорної обчислювальної техніки. Ця обставина пояснюється рекурентним підходом, який покладений в основу класичних методів. В зв'язку з цим основна мета цієї роботи полягає в конструюванні максимально паралельних форм при моделюванні вказаного класу задач. На запропонованих в цій роботі схемах зручно реалізувати алгоритм розпаралелювання та його відображення на паралельні обчислювальні системи.

Такий підхід дозволяє організувати можливість роздільного визначення теплофізичних характеристик матеріалу конструкцій, тобто дозволяє отримати розв'язок коефіцієнтних та ін. обернених задач теплопровідності. В роботі розглянуто два способи дискретизації рівнянь математичної фізики. При цьому застосування числово-аналітичного методу прямих і методів прогонки до розпаралелювання математичних моделей, що мають трьохдіагональну структуру, дозволяє конструювати її точні повузлові рішення, що мають максимальну паралельну форму й мінімальний можливий час реалізації на паралельних обчислювальних пристроях.

Запропонований підхід при розробці методів, алгоритмів і програмних засобів може бути використаним в різних галузях металургійної теплофізики, економіки, а також задачах екології металургійної промисловості.

Development of parallel structures of differential tasks of mathematical physics

The paper is devoted to the construction of parallel forms of mathematical models of a tridiagonal structure. This paper considers two methods of discretization of differential problems on the example of solving the mathematical physics equation. Moreover, the application of the numerical-analytical straight-line method and sweep methods for parallelization of mathematical models with a three-diagonal structure allows constructing its exact node-by-node solutions having the most parallel form and the least implementation time on parallel computing devices. The proposed approach for the development of methods, algorithms, and software can be applied in various branches of metallurgical thermal physics, economics, as well as environmental problems of the metallurgical industry.

Швачич Геннадий Григорьевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и вычислительной техники, Национальная металлургическая академия Украины.

Коноваленков Владимир Степанович – к.т.н., доцент, доцент кафедры прикладной математики и вычислительной техники, Национальная металлургическая академия Украины.

Иващенко Елена Валерьевна - старший преподаватель кафедры прикладной математики и вычислительной техники, Национальная металлургическая академия Украины.

Сушко Лариса Федоровна - старший преподаватель кафедры высшей математики и физики Днепровского государственного аграрно-экономического университета.

Швачич Геннадій Григорович – д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України..

Коноваленков Володимир Степанович – к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України.

Іващенко Олена Валеріївна - старший викладач кафедри прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України.

Сушко Лариса Федорівна - старший викладач кафедри вищої математики та фізики Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

Shvachych Gennady - doctor of technical sciences, professor, head of the department of applied mathematics and computer science, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Konovalenkov Volodymyr - candidate of technical sciences, docent, docent of the department of applied mathematics and computer science National Metallurgical Academy of Ukraine.

Ivaschenko Olena - senior lecturer of the department of applied mathematics and computer science, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Sushko Larysa - senior lecturer of the department of higher mathematics and physics, State Agrarian and Economic University.

В.Ю. Царик, Вікт.В. Гнатушенко

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЛУЧЕННЯ ВОКАЛУ У ЗМІКСОВАНИХ ЗАПИСАХ

Анотація. Розглянута задача сліпого поділу сигналу, а саме, виділення вокальної доріжки з готового зміксованого запису. Метою дослідження є виділення характеристик вокального сигналу на підставі існуючих методів і програмних засобів. Проаналізовані існуючі методи виділення вокалу: методи частотної фільтрації, фазового віднімання та методи на основі систем штучного інтелекту. Проведено порівняльний аналіз роботи програмних засобів для ізоляції вокалу та методу фазового віднімання, що дозволило зробити висновки про недостатню ефективність існуючих методів ізоляції вокалу у зв'язку з неврахуванням особливостей тембру голосу в конкретній музичній композиції.

Ключові слова: сліпий поділ сигналу, деміксування, цифрова обробка сигналів.

Постановка проблеми. У сучасному світі для музикантів і працівників звукової індустрії є актуальною задачею сліпий поділ сигналу. Вона полягає у виділенні початкового сигналу з суміші, тобто, розглядаючи область музики – це виділення доріжки одного інструмента з готового міксу. Подібна задача виникає в різних ситуаціях: для вокалістів – при необхідності виконати пісню, для якої відсутня інструментальна версія, для музикантів – при необхідності підібрати на слух партію конкретного інструменту, який зливається з іншими в міксі, для звукорежисера – під час запису живого колективу, коли в мікрофонах музичних інструментів присутні звуки сусідніх інструментів, які перешкоджають якісній обробці звукової доріжки і т.д.

Незважаючи на наявність великої кількості методів обробки сигналів, завдання деміксування на сьогоднішній день не вирішена, а спроби її вирішення дають на виході сигнали з великою кількістю спотворень, що робить неможливим їх подальше використання. Нижче наведені деякі причини, які перешкоджають вирішенню даної задачі:

1. Кожен музичний інструмент і кожен голос має свій унікальний тембр, який може змінюватися в процесі гри, коли виконавець застосовує різні техніки звуковидобування.

2. У процесі зведення звукова доріжка конкретного інструменту / голосу піддається безлічі обробок: динамічним (компресія звуку), частотним (еквалізація), фазовим (накладення звукових ефектів). Так само, за задумом виконавців або звукорежисерів, дані обробки можуть змінюватися протягом композиції. Крім цього, вищевказані обробки застосовуються і до зведеного міксу на етапі мастерингу композиції.

3. Кожен музичний інструмент звучить в своєму діапазоні частот, але часто для декількох інструментів ці діапазони перетинаються або співпадають, що робить неможливим виділити інструмент, використовуючи частотну фільтрацію.

Таким чином, для ефективного вирішення задачі деміксування необхідно виділити характеристики, які притаманні конкретному інструменту або голосу в даній композиції. В даному дослідженні розглянуто методи ізоляції вокальної доріжки, так як це є найбільш затребуваною варіацією вищеописаної задачі. Метою дослідження є виділення характеристик вокального сигналу на підставі існуючих методів і програмних засобів.

Основна частина. *Акустичні характеристики голосу.* Людський голос складається із сукупності різноманітних за своїми характеристиками звуків, що утворюються за участю голосового апарату. У голосовому апараті людини виникають і тонові (що породжуються періодичними коливаннями джерела звуку з певною частотою), і шумові звуки (з'являються при безладних коливаннях різної фізичної природи). Всі голосні мають тоновий характер, а глухі приголосні – шумовий. Чим частіше відбуваються періодичні коливання, тим вище сприймається нами звук. Таким чином, висота звуку – це суб'єктивне сприйняття органом слуху частоти коливальних рухів. Частота основного тону вимірюється в герцах і може в звичайній розмовній мові у чоловіків змінюватися в межах від 85 до 200 Гц, а у жінок – від 160 до 340 Гц. [1]

Для характеристики голосу існує таке поняття, як тоновий діапазон – можливість продукувати звуки в певних межах від найнижчого тону до найвищого. Тоновий діапазон співочого голосу індивідуальний, але співак повинен володіти голосом з діапазоном мінімум в дві октави. Відомі співаки, у яких діапазон досягає чотирьох і п'яти октав: вони можуть брати звуки від 43 Гц – найнижчі голоси до 2 300 Гц – високі голоси.

Тембр звуку є суттєвою характеристикою голосу, яка відображає акустичний склад, будову голосу. Кожен звук голосу складається з основного тону, що визначає його висоту, і численних додаткових обертонів більш високої, ніж основний тон, частоти. Частота обертонів в два, три, чотири і так далі раз більше, ніж частота основного тону.

Методи виділення вокалу. В силу того, що кожен голос унікальний, на сьогоднішній день не існує універсального способу витягти вокальну доріжку з готового міксу. Залежно від конкретного аранжування і конкретного голосу, різні методи можуть давати різні результати. Розглянемо основні методи, якими користуються на сьогоднішній день.

1. Частотна фільтрація вокалу

Даний метод заснований на пошуку діапазону частот, в якому знаходиться голос і прибиранні рівня гучності цього діапазону за допомогою еквалізації, тобто застосування різних видів фільтрів. [2] Використовуючи даний метод, стикаємося з двома основними проблемами. По-перше, голос може звучати на широкій полосі частот, що залежить як від виконавця, так і від конкретної композиції, тому необхідно визначати полосу в якій знаходиться вокал. А для досягнення кращого результату слід застосовувати різну фільтрацію протягом всієї композиції, адаптуючи межі полоси зрізу під вокальну партію. По-друге, в частотному діапазоні голосу так само знаходяться і інші інструменти, які придушуються разом з голосом. Таким чином, використовуючи даний метод, ми втрачаємо корисну інформацію аудіосигналу у вигляді частини музичних інструментів.

Можливості застосування даного методу. Використовуючи частотну фільтрацію, можна виділити інструменти, які розташовані у вузь-

кому частотному діапазоні, а також не перетинаються по частотах з іншими інструментами. Прикладом таких інструментів може бути великий барабан, бас-гітара (які розташовані на низьких частотах), окремі звуки барабанів, які звучать на певній частоті, барабанне «залізо» (розташоване на високих частотах). Також даний метод застосовується в концертній та студійної звукорежисурі для фільтрації окремих звукових доріжок з метою видалення небажаних шумів і сторонніх звуків.

2. Метод фазового віднімання

На сьогоднішній день переважна більшість аудіозаписів є стереофонічними, тобто мають два канали – лівий і правий. Різні елементи аранжування розташовують в різних місцях панорами для створення більш реалістичного звучання і з метою запобігання перенасичення міксу. Але основні інструменти, такі як вокал, великий і малий барабан, бас-гітара, зазвичай розташовуються в центрі панорами, тобто присутні в обох каналах міксу в рівній мірі. Слід також зауважити, що на відміну від основного вокалу, який розташовується по центру, бек-вокали зазвичай розводять по панорамі, тобто їх звучання в двох каналах відрізняється між собою.

Метод фазового віднімання являє собою видалення центральної складової міксу, де і знаходиться основний вокал. [3] Головним недоліком даного методу є те, що в результаті з стереофонічного запису виходить монофонічна. Крім того, зараз дуже часто на вокальну доріжку накладають звукові стерео-ефекти, такі як реверберація, ділей і інші. Виділення їх даним методом не дає позитивного результату.

Алгоритм цього методу наступний: виконується інверсія фази одного з каналів звукового файлу і складається з іншим каналом. В результаті цього залишається один моно-канал, в якому відсутня загальна, центральна складова стерео-панорами. Недоліком такого методу є зміна вихідного рівня гучності деяких елементів міксу. Багато інструментів, такі як барабани і бас можуть повністю зникнути з міксу. Для уникнення такого ефекту слід комбінувати даний метод з описаним вище методом частотної фільтрації.

3. Методи з використанням штучного інтелекту

Зараз активно ведуться розробки програмного забезпечення для ізоляції вокалу на основі систем штучного інтелекту. Вже існують програмні продукти, які вирішують це завдання з результатами, які в рази перевищують описані вище методи, але все одно, на сьогоднішній день не можуть добитися ідеальної ізоляції вокалу. Розглянемо кілька прикладів програмних продуктів, в основі роботи яких лежать дані методи.

Spleeter. Розробка Але Корецького, керівника відділу машинного навчання компанії «Splice.com». Застосовувані розробником алгоритми розкриті в патентах US10014002B2 і US9842609B2. Реалізація представлена з відкритим вихідним кодом, написаному мовою Python. Робота можлива тільки в режимі командного рядка, так як відсутня реалізація графічного інтерфейсу. Дана система була представлена в лютому 2019 року і надавала можливість розділити вокальну та інструментальну доріжки композиції. Але розробки автора на цьому не припинилися і зараз стало можливим розділити мікс на 5 доріжок – вокал, ударні, бас, фортепіано і інші інструменти.

В основі даного алгоритму лежить нейронна мережа, яка визначає наявність голосу на довільному фрагменті звукозапису завдяки детектору голосової активності, який реалізований у вигляді бінарного класифікатора. Для цього застосовується згорточна нейронна мережа. На цьому етапі виявляються часові ділянки, де присутній голос. Наступний етап – на обраних часових ділянках розділити голос від музики. Тобто з спектрограми всього міксу виділити ділянки спектра, в яких лежить голос. Для цього застосовується метод вилучення вокалу з міксу з використанням бінарних масок, в якому вихід представляється як бінарне зображення, де значення “1” вказує на переважну присутність вокального контенту на заданій частоті і часовій області, а значення “0” вказує на переважне присутність музики в даному місці. Для навчання нейронної мережі використовувалося 15 млн зразків по 300 мс міксів і відповідних їм вокальних бінарних масок. [4]

Надалі аналогічний підхід застосовувався для виділення інших інструментів з міксу.

iZotope RX 7. Пакет програм від компанії iZotope для реставрації аудіо. Нам цікавий модуль Music Rebalance, який дає можливість змінити баланс рівнів гучності інструментів в міксі. Алгоритм роботи даного модуля схожий з програмним продуктом, описаним вище. Music Rebalance використовує технологію машинного навчання, навчену розділяти різні музичні джерела в міксі. Звук обробляється через кілька нейронних мереж, кожна з яких навчена ідентифікувати та ізолювати певний музичний інструмент (вокал, бас або перкусію). Виходи цих нейронних мереж об'єднуються, щоб повідомити нам кількість конкретного джерела, присутнього в кожен момент часу і для кожної частоти вашого аудіо. Ця інформація використовується для адаптивної фільтрації аудіо таким чином, щоб ізолювати конкретний інструмент. Грунтуючись на цьому поділі, Music Rebalance дозволяє контролювати рівень гучності кожного з музичних джерел поряд із іншими джерелами та відносно їх початкової кількості в міксі. За словами розробників, нейронні мережі навчалися на безлічі міксів з використанням різних голосів, як ідеального вихідного сигналу застосовувався тільки сольний вокал з цього міксу. Крім цього, проводилося навчання на міксах з різним балансом інструментів, наприклад, використання одного і того ж вокального треку на різній гучності відносно рівня основного міксу. [5]

Порівняльна характеристика програмних засобів для ізоляції вокалу. З метою оцінки ефективності описаних вище методів був проведений порівняльний аналіз. Підготовлено набір прикладів для аналізу, для чого підібрані композиції в різних стилях музики і з різним наповненням музичних інструментів в аранжуванні. Використовувалася окремо вокальна доріжка і окремо інструментальна з метою подальшого порівняння з отриманими результатами. Один із прикладів обраний з використанням необробленої вокальної доріжки – без використання частотної, динамічної корекції і звукових ефектів. Вихідні звукові доріжки були зведені з метою отримання стереофонічних міксів і надалі піддавалися обробці наступними методами: в програмі Spleeter, в програмі iZotope RX 7 і методом фазового віднімання.

Так як дані програмні засоби націлені в першу чергу на працівників звукової індустрії і музикантів, які в ході своєї діяльності спираються головним чином на свій слух, основним критерієм оцінювання результатів дослідження є суб'єктивна оцінка звуку результатуючих файлів. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати порівняльного аналізу методів ізоляції вокалу

Приклад і його характеристика	Spleeter	iZotope RX 7	Фазове віднімання
Billie Eilish – Bad Guy Характеристика: жіночий вокал, не насичене аранжування, багато бек-вокалів.	Вокал. Коли є бек-вокали – сильне спотворення, присутні артефакти на низьких частотах, клацання пальців віднесено до вокалу. Інструментал. Наявні залишки бек-вокалів, є спотворення на низьких частотах.	Вокал. Періодично вокал спотворюється, але менше, ніж в першому методі, артефактів на низьких частотах немає, клацання залишилися у вокальній доріжці. Інструментал. Менше залишків вокалу, наявні спотворення на низьких частотах.	Вокал. Вокали майже без спотворень. Частина бек-вокалів залишилося у вокальній доріжці, частина в інструментальній. Артефакти на низьких частотах. Інструментал. Менше спотворень, багато вокалу залишилося.
Bruno Mars – Uptown Funk Характеристика: чоловічий вокал, аранжування насичене, багато інструментів в частотному діапазоні вокалу.	Вокал. Майже немає інших інструментів. Тембр спотворений – зрізані високі частоти голосу. Інструментал. В цілому – нормальний, артефактів від вокалу немає. Присутні спотворення на низьких частотах. Менше високих частот в порівнянні з оригіналом.	Вокал. Результат дуже схожий на попередній метод. Інструментал. Є артефакти від вокалу. Спотворення на низьких частотах. Немає провалу високих частот як в попередньому методі.	Вокал. Дуже багато сторонніх інструментів, наприклад, гітари. Інструментал. Чути тихо основний вокал, залишилися бек-вокали. В цілому, звук нормальний.
Clean Bandit – Rather Be Характеристики :	Вокал. Дуже сильно спотворений звук. На високих нотах	Вокал. Результат схожий на попередній метод,	Вокал. Голос без спотворень, багато зайвих інструментів –

Жіночий вокал. Насичене аранжування, багато сучасних звуків і стерео-ефектів.	іноді проступає скрипка. Інструментал. Є артефакти від вокалу, бас спотворений. Гучність іноді змінюється. Частина звуків бас-гітари і скрипок віднесло в вокал, тому на доріжці з інструменталом вони спотворені.	іноді вокал взагалі втрачається, голос сильно спотворений. Інструментал. Бас більш чистіший, є артефакти вокалу і ефектів. Ударні спотворені, скрипки іноді губляться.	клавіші, ударні, скрипки. Інструментал. Провал на низьких частотах, артефакти вокалу. Барабани спотворені.
One Republic – Counting Stars Характеристики: поп-рок, більш природне звучання, без безлічі ефектів. Чоловічий вокал.	Вокал. Тембр спотворений. Артефакти від ефектів. Інструменти не присутні. Інструментал. Бракує високих частот. Артефактів від вокалу немає.	Вокал. Тембр нестабільний: то з'являються високі частоти, то пропадають. Багато артефактів. Інструменти не присутні. Інструментал. Є артефакти від вокалу.	Вокал. Вокал не ізольований, дуже багато інструментів, які знаходяться в вокальному діапазоні. Інструментал. Вокал чути, хоч і приглушений.
Характеристики: На мінусовку з бекками накладена необроблена вокальна доріжка, без ефектів, вокал строго в центрі панорами міксу.	Вокал. Вокальна доріжка спотворена, є артефакти інструментів. Інструментал. Є артефакти вокалу, звук спотворений.	Вокал. Вокальна доріжка спотворена, менше ніж в попередньому методі. Артефакти інструментів. Інструментал. Є артефакти вокалу.	Вокал. Багато залишків інструментів, вокал не ізольований. Інструментал. Частина ударних віднесена до вокальної доріжки, є залишки вокалу.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Проаналізовано та досліджено методи ізоляції музичних інструментів, зокрема вокалу, з зміксованих музичних записів, що дозволяє зробити наступні висновки. Оцінка результатів методів з використанням штучного інтелекту дають дуже схожі результати, однак для різних композицій кращими виявляються різні методи. У всіх випадках немає ідеального виділення вокальної лінії – або спотворюється тембр, або присутні призвуки від інших інструментів. Метод фазового віднімання в результаті дає моно-сигнал, що є великим недоліком, та не може відокремити во-

кал від інструментів, які перебувають в одному діапазоні і положенні в панорамі. Загальний недолік всіх методів полягає в тому, що вони не адаптуються під голос в конкретній музичній композиції. У зв'язку з цим, потрібне розроблення методу, який буде визначати характеристики тембру для конкретної композиції і виділяти доріжку з цим тембром.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Лаврова Е. В. Логопедия. Основы фонопедии [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. – логопедия / Е. В. Лаврова. – М.: Academia, 2007. – 144 с. : ил. – (Высшее профессиональное образование: психология). – Библиогр.: с.139-142. – ISBN 978-5-7695-3753-0
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.: ил. — (Учебная литература для вузов).
3. В. Попченко. Борьба с фазовыми искажениями при микрофонной записи. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://prosound.ixbt.com/exp/papchenko-phase.shtml>
4. Ale Koretzky. Audio AI: isolating vocals from stereo music using Convolutional Neural Networks. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://towardsdatascience.com/audio-ai-isolating-vocals-from-stereo-music-using-convolutional-neural-networks-210532383785>
5. Hannah Robertson. Exploring the Technology that Makes RX 7 Music Rebalance Possible. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<https://www.izotope.com/en/learn/exploring-the-technology-that-makes-rx-7-music-rebalance-possible.html>

REFERENCES

1. Lavrova E.V. Speech therapy. Basics of phonopaedia [Text]: textbook. manual for university students enrolled in the specialty - speech therapy / E.V. Lavrova. – M.: Academia, 2007. – 144 p.: ill. – (Higher vocational education: psychology). – Bibliography: p.139-142. – ISBN 978-5-7695-3753-0
2. Sergienko A.B. Digital signal processing. 3rd ed. – SPb.: BHV-Petersburg, 2011. – 768 p.: Ill. – (Textbooks for universities).
3. V. Popchenko. Fight phase distortion during microphone recording. [Electronic resource]. – Access mode:
<http://prosound.ixbt.com/exp/papchenko-phase.shtml>
4. Ale Koretzky. Audio AI: isolating vocals from stereo music using Convolutional Neural Networks. [Electronic resource]. – Access mode:

<https://towardsdatascience.com/audio-ai-isolating-vocals-from-stereo-music-using-convolutional-neural-networks-210532383785>

5. Hannah Robertson. Exploring the Technology that Makes RX 7 Music Rebalance Possible. [Electronic resource]. – Access mode:

<https://www.izotope.com/en/learn/exploring-the-technology-that-makes-rx-7-music-rebalance-possible.html>

Received 12.02.2020.

Accepted 17.02.2020.

Дослідження методів вилучення вокалу у зміксованих записах

Розглянуто існуючі методи ізоляції вокалу з зміксованого запису: метод частотної фільтрації, метод фазового віднімання та методи на основі систем штучного інтелекту. Проведено порівняльний аналіз роботи існуючих програмних засобів для вирішення даної задачі – Spleeter та iZotope RX7. Зроблено висновки про недостатню ефективність існуючих методів ізоляції вокалу.

Investigation of methods of vocal extraction in mixed records

In the modern world, the blind division of the signal is an urgent task for musicians and the audio industry workers. It is to isolate the source signal from the mix, that is, by looking at the music area, it is the selection of a single instrument track from a finished mix. Despite the presence of a large number of signal processing methods, the problem of demixing has not been solved to date, and attempts to solve it yield signals with many distortions at the output, which makes it impossible to use them further. The purpose of the research is to isolate the characteristics of the vocal signal on the basis of existing methods and software.

Due to the fact that each voice is unique, there is no universal way to extract a vocal track from the finished mix. Depending on the particular arrangement and the particular voice, different methods can produce different results.

The following methods of vocal isolation are described in this paper:

- 1. Frequency filtering of vocals;*
- 2. Phase subtraction method;*
- 3. Methods using artificial intelligence.*

A comparative analysis was conducted to evaluate the effectiveness of these methods. A set of examples has been prepared for analysis, for which compositions in different styles of music and with different filling of musical instruments in arrangement are selected. Selected compositions were subjected to phase subtraction processing and two software products that operate on the basis of artificial intelligence systems: Spleeter and iZotope RX7.

Evaluating the results of methods using artificial intelligence give very similar results, but different methods are better for different compositions. In all cases, there is no perfect vocal line distortion – either distorted timbre or tones from other instruments. As a result, the phase subtraction method produces a mono-signal, which is a major drawback and cannot separate vocals from instruments in the same range and position in the panorama. A common disadvantage of all methods is that they do not adapt to the voice in a particular musical composition. In this regard, we need to develop a method that will determine the timbre characteristics for a particular composition and highlight the track with that timbre.

Царик Владислав Юрьевич – аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургічної академії України.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – д.т.н., професор кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургічної академії України.

Царик Владислав Юрійович – аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургічної академії України.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – д.т.н., професор кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургічної академії України.

Tsaryk Vladyslav – postgraduate student, assistant professor, department of information technologies and systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Hnatushenko Viktoriia – doctor of engineering's sciences, professor, department of information technologies and systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ БУДІВЕЛЬ

Анотація. Дана робота присвячена опису розробленої інформаційної технології для задач розпізнавання будівель на знімках дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності та верифікації результатів розпізнавання. Проаналізовані сучасні підходи до розпізнавання будівель. Запропонована технологія заснована на аналізі гістограм та сегментації в просторі ознак. Для верифікації результатів розпізнавання розроблені методи на основі геометричного аналізу, тіньового аналізу та використання метаданих. Результатом роботи є векторний файл, який містить розпізнані багатокутні об'єкти. Ключові слова: сегментація, тіньовий аналіз, геометричний аналіз, розпізнавання будівель, дистанційне зондування, гістограма, сцена, фотограмметричні зображення.

Вступ та постановка проблеми. Щорічно зростає частка космічних знімків в загальній масі даних дистанційного зондування Землі. Підвищується якість даних одержуваних із супутників, збільшується точність, знижується ціна, значно підвищується продуктивність нових супутників. Аналіз сучасних методів розпізнавання будівель показав недосконалість використання окремих методик та алгоритмів, малу кількість інформаційних технологій автоматичного розпізнавання будівель та необхідність розробки комплексного підходу для вирішення цього питання. Автоматичне розпізнавання будівель допомагає заощадити час та системні ресурси на оновлення баз даних геоінформаційної системи та підтримання сучасних муніципальних геодезичних даних. У той же час автоматичне розпізнавання супутникових знімків високої роздільної здатності не є ефективним через високу неоднорідність спектральних, текстурних та просторових характеристик. Окрім «бажаних» об'єктів (будинки та дороги), зображення високої роздільної здатності включають

об'єкти, які заважають просторовому розпізнаванню (наприклад, дерева, машини та найголовніше тіні).

Виявлення змін штучних об'єктів земної поверхні тісно пов'язане з багатьма прикладними задачами охорони навколишнього середовища, екологічної безпеки, оперативного моніторингу міських забудов, оцінки збитків і наслідків, спричинених стихійними лихами чи діяльністю людства.

Аналіз останніх досліджень. Останні публікації пропонують розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високої роздільної здатності на основі багатоетапних методик або об'єктно-орієнтованого підходу [1, 2]. У процесі аналізу отриманих при сегментації об'єктів вилучається рослинний покрив за допомогою нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI), знаходження тіней об'єктів за допомогою яскравості і спектральних характеристик і їх фільтрація, а також використовується інформація про взаємне розташування сегментів зображення і кутові характеристики. В якості дешифрувальної ознаки використовують тон пікселів. В [3] запропоновано інформаційну технологію розпізнавання будівель у багатоканальних фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення на основі морфологічних індексів. Останнім часом збільшилася кількість публікацій, в яких пропонують використовувати різноманітні нейромережеві підходи для розпізнавання будівель на зображеннях дистанційного зондування високої роздільної здатності [4-6].

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розробка інформаційної технології автоматизованого розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях високого просторового розрізнення. Необхідно розробити алгоритм розпізнавання будівель; провести оцінку якості та інтерпретації отриманих результатів розпізнавання; розробити методику верифікації результатів розпізнавання; на базі запропонованих алгоритмів та методик розробити автоматизовану інформаційну технологію розпізнавання будівель на фотограмметричних зображеннях.

Основна частина. При розпізнаванні будівель необхідно враховувати комплексні характеристики, які неможливо описати простою

геометрією; виявлення краю і лінії сегментації не може бути єдиним рішенням в процесі розпізнавання; необхідно враховувати сигнали глибини (наприклад тіні); треба прагнути спрощення процедури розпізнавання; для доповнення рішення можна використовувати метадані ГІС. Розроблена технологія заснована на інтеграції джерел дистанційного зондування і наявних даних ГІС на етапах початкового спрощення та подальших етапах валідації. Технологія складається з наступних етапів (Рис.1):

1. Розбиття зображення на ділянки з елімінацією вільних ділянок і визначення типу ділянки.
2. Аналіз гістограм.
3. Сегментація ознак в просторі зображення.
4. Валідація на основі аналізу розмірів, геометричного та тіньового аналізу.
5. Знаходження і узагальнення контуру будівлі.

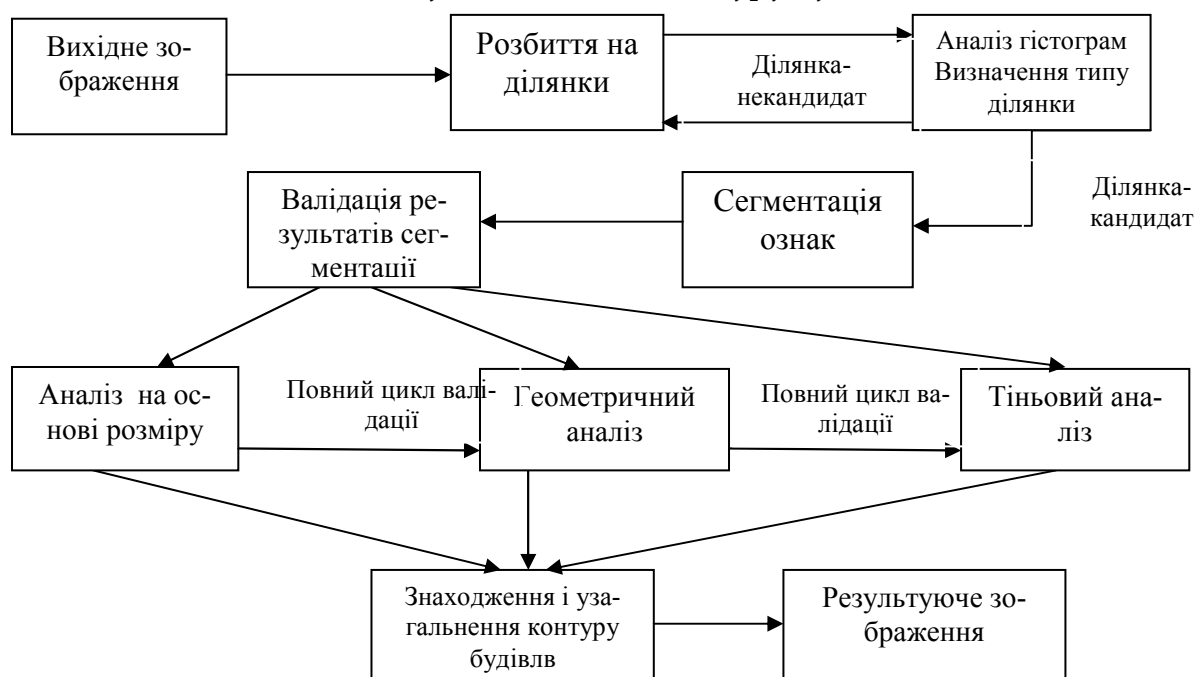


Рисунок 1 - Інформаційна технологія автоматизованого розпізнавання будівель

На першому етапі зображення розбивається на сегменти для локалізації пошуку та первинного спрощення сцени розпізнавання. Експертні атрибути ділянки використовуються для вилучення порожніх ділянок та визначення типів ділянок (житлова забудова, багатоповерхова або коме-

рційна), що полегшує процес розпізнавання. Інформація про територіальне зонування кожної ділянки може бути використана для виділення області ділянки, яка найімовірніше, містить будівлю. Для кожної сцени в межах зображення створюється нове, менше, зображення розміром з ділянку, яка є потенційною ділянкою, що містить будівлю. Область поза потенційною ділянкою приймає значення 0 (чорний фон).

Попередні дослідження деяких зображень показали стабільну генерацію піків гістограми для даху будівлі, тобто будівлі є домінантними особливостями в межах ділянки [7]. Оскільки ділянка - кінцевий двовимірний простір з обмеженим числом особливостей, будівля охоплює значну кількість пікселів - по суті пік у всіх 3 смугах. У великій вибірці будівель в тестових зображеннях, було помічено, що близько 50% ділянок містять будівлі, які створюють мажоритарний пік. В інших випадках, будівля генерує пік, але не мажоритарний, а в деяких випадках існує більш ніж один будинок або комплекс будівель на ділянці. У деяких випадках тінь, яка є невід'ємною частиною будь-якого висотного об'єкту, дає на гістограмі піки, що конкурують з мажоритарним піком, також бувають випадки, коли на гістограмі немає єдиного мажоритарного піку. Для визначення порогу кожного піку, технологія знаходить високу точку-пік, а потім шукає низьку "сідлову" точку, де схил стає більш помірним або повністю змінюється напрям. Ґрунтуючись на "сідлових" точках, визначається граничне значення для кожного піку в кожному діапазоні. Потім всі три смуги корелюються для ідентифікації об'єкта у всіх трьох діапазонах. Через локальності пошуку для забудови в межах ділянки аналіз гістограм дає легку кореляцію між об'єктами і піками гістограм. На основі аналізу гістограм, відповідні особливості сегментуються в просторі зображення. Далі пікселі згруповуються в чіткі об'єкти. Кожен піксель перевіряється на відповідність інформації піків. Якщо виявлено, що значення пікселя знаходиться в межах інтервалу певного піку (у всіх трьох смугах), нове значення пікселя - це пікове значення. Пік може представляти повну особливість (потенційну будівлю), її частину або кілька об'єктів з подібними спектральними характеристиками. З метою згладжування та усунення порожнин сегменти піддаються подальшій обробці.

Наступні етапи є механізмом оцінки ймовірності сегмента бути частиною будівлі, а саме аналізи розміру, тіні і геометрії сегментів. Аналіз розмірів ґрунтується на експертних атрибутивних даних. Обмеження за розміром може використовуватися, щоб усунути сегменти, отримані особливості яких не відповідають експертним даним ділянки. Обмеження розміру оцінюється або за допомогою площі, взятої з таблиці атрибутів, або обчислюється як мінімальний відсоток розміру ділянки. Експертні дані використовувалися для навчання нейромережі, яка далі оцінює можливість сегмента бути будівлею.

Відсів сегментів із низькою ймовірністю бути будівлею базується також і на геометрії [8, 9]. Геометричний аналіз заснований на загальних мірах для подання геометричних характеристик сегмента. Значення мір, що відносяться до сегментів з будівлями і без, використовуються для елімінування сегментів на основі показника ймовірності. Для оцінки геометричної ймовірності, що це будівля, обчислюються наступні параметри: прямокутність і еліптичність сегмента, масивність, опуклість і компактність. Дані характеристики перевіряються індивідуально шляхом порівняння поведінки параметра для об'єктів «будівля» і «не будівля». Для того, щоб використовувати ці міри для розрахунку ймовірності для сегмента бути сегментом з будівлею, вони повинні бути різними для класів з будівлями і без будівель відповідно. Значення кожного параметра потім використовується для обчислення ймовірності сегмента «бути будівлею». Використовуються прості обмеження, такі як мінімальна ширина будівлі (для простору, придатного для житла або використання в якості робочої зони). Можливість наявності порожнин в межах сегмента оцінюється як показання для виключення сегмента (порожнини, більші ніж очікується, будуть індикатором відсутності будівлі). На цьому кроці для виключення контурів "не-будівель" використовуються інваріантні моменти Ху. Розроблений метод на даному етапі дозволяє пом'якшити вплив етапу сегментації, визначивши граничне значення для порівняння розмірів і кілька геометричних мір (округлість, монолітність, опуклість, компактність), що визначають відповідну ймовірність сегмента.

На етапі тіньового аналізу користувач забезпечує просту індикацію напрямку освітлення сонцем. Знання загального напрямку сонячного освітлення може допомогти розрізняти сегменти, які мають тінь на коректній позиції і відносяться до сегментів з будівлями, і сегменти з «некоректною» тінню, і відповідно, не є будівлями [10]. Наявність метаданих в складі даних ДЗЗ, а також просторових даних у вигляді векторних карт території зйомки дозволяє проводити аналіз узгодженості об'єктів і тіней на зображенні. Тінь повинна знаходитися в певному положенні щодо об'єкта, в нашому випадку - будівлі. Знання напрямку сонячного освітлення може допомогти розрізняти сегменти, які мають тінь на коректній позиції, як сегменти з будівлею від сегментів, які не є будівлею. Рішення задачі ґрунтується на аналізі значень числових характеристик зображення, що прямо залежать від параметрів зйомки: положення Сонця, положення космічного апарату і орієнтації пристрою реєстрації. У більшості випадків у будівель на зображеннях високої роздільної здатності присутні дві тіньові області: тінь будівлі на землі (падаюча тінь), яка обумовлена сонячним освітленням, і самотійна тінь (затінена частина об'єкта). Положення падаючої тіні можна визначити, знаючи час і напрямок зйомки. Зазначені параметри зйомки, як правило, супроводжують в якості метаданих геопросторові зображення, отримані з аерокосмічних носіїв.

Після сегментації, яка заснована на аналізі гістограм і проводиться у всіх трьох RGB-каналах, пікселі з певними значеннями групуються в сегменти (сегменти «особливостей» і сегменти тіні). Аналіз тіні заснований на вихідному "тіньовому образі", створеному в результаті тіньової сегментації. Результатом тіньового аналізу є зображення з одним або декількома сегментами, які залишаються в якості можливих кандидатів бути будівлями. Через складність тіньового аналізу в міських умовах, не виключаються сегменти, для яких є невизначеність, щодо достовірності сегмента бути будівлею, і вони можуть бути додатково досліджені.

Етапи геометричного, тіньового аналізу і аналізу розміру використовуються як механізм для оцінки чи є сегмент частиною будівлі. Сегменти, які визначені як не-будівлі, на основі різних мір, будуть вилучені.

Для інших, до кожного сегмента додається оцінка ймовірності як оцінка міри для користувача в кінцевому підсумку.

Результат сегментації зображення - растрове зображення розпізнаних сегментів, які повинні бути геометрично проаналізовані і конвертуються у векторний полігональний шар в якості кінцевого результату і можуть використовуватися для можливої ручної постобробки. На цьому ж етапі проводиться узагальнення з метою усунення невеликих западин або виступів. Результатом всього процесу є векторний файл, який містить багатокутні об'єкти, а також ймовірні багатокутники, які можуть бути будівлею (Рис.2).

Гістограми всіх ділянок визначають їх як ділянки – потенційні кандидати з будівлями. Етап тіньового аналізу відкидає третю ділянку як ділянку із будівлею (тінь знаходиться з «невірного» боку). Завдяки темному даху будівля на першій ділянці розпізнана частково, в цьому випадку необхідна ручна постобробка для коригування результатів розпізнавання.

Висновки. Технологія автоматичного розпізнавання була протестована для різних сценаріїв: повний прогін, включаючи всі три етапи аналізу; виключаючи аналіз розмірів; виключаючи аналіз тіней; виключаючи аналіз геометрії. Кожен запуск забезпечує можливість ізолювати вплив певного етапу на процес розпізнавання, отже, оцінити вигоду для всього процесу. Аналіз комерційних будівель виявив, що повний прогін, який включає в себе всі етапи, підвищує загальну точність розпізнавання і знижує обсяг ручної постобробки. Аналіз геометрії є вирішальним кроком в загальному процесі зі значними впливом на кінцевий результат. Аналіз розмірів і аналіз тіні також грають важливу роль і повинні бути інтегровані в процес, щоб зменшити зусилля постобробки.

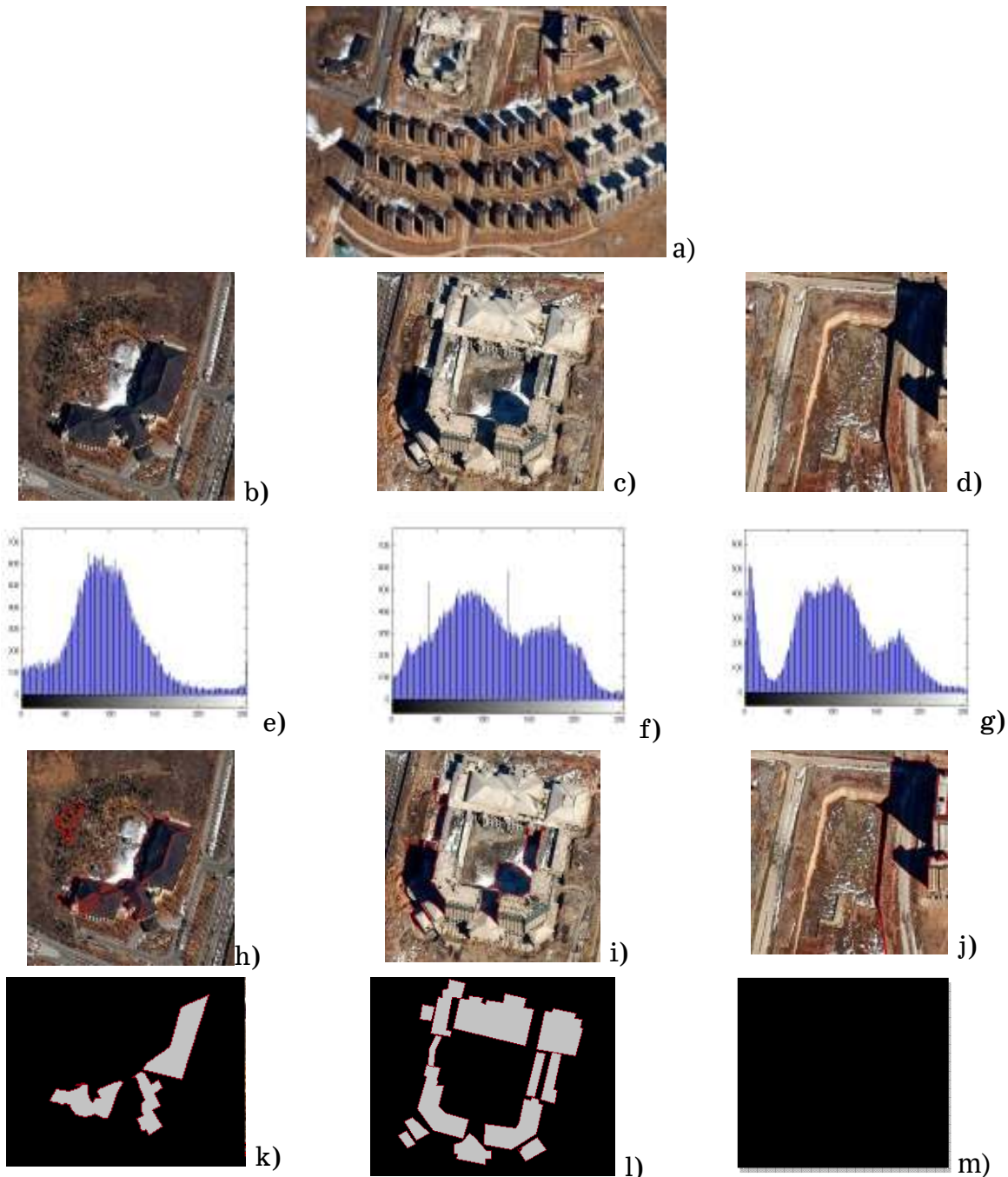


Рисунок 2 – Етапи розпізнавання: а- вихідне зображення; б, с, d - розбиття ділянки; е, f, g аналіз гістограми ; h,i,j - тіньовий аналіз; k, l, m - результуюче зображення

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Shedlovska Y.I. Shadow detection and removal using a shadow formation model / Y.I. Shedlovska, V.V. Hnatushenko // Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Stream Mining and Processing, 2016, August, 23 – 27, Lviv, Ukraine, pp.187-190.

2. R.Ghasemi Nejad, P.Pahlavani, B.Bigdeli. Automatic building extraction using a decision tree object-based classification on joint use of aerial and lidar data. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W18, 2019. PP.429-434.
3. Гнатушенко В.В. Информационная технология распознавания зданий на многоканальных фотограмметрических изображениях высокого пространственного разрешения на основе морфологических индексов. / В.В.Гнатушенко, А.А.Кавац, Э.Б.Гальченко, Ю.В.Кавац // Вісник ХНТУ. – 2016. - №3(58). - С.195-198.
4. Hsiuhan Lexie Yang, Jiangye Yuan, Dalton Lunga, Melanie Laverdiere, Amy Rose, Budhendra Bhaduri. Building Extraction at Scale using Convolutional Neural Network: Mapping of the United States. JOURNAL OF LATEX CLASS FILES, VOL. 14, NO. 8, AUGUST 2015
5. Yongyang Xu, Liang Wu, Zhong Xie, and Zhanlong Chen. Building Extraction in Very High Resolution Remote Sensing Imagery Using Deep Learning and Guided Filters Remote Sens. 2018, 10, 144; doi:10.3390/rs10010144
6. Jianfeng Huang, Xinchang Zhang, Qinchuan Xin, Ying Sun, Pengcheng Zhang. Automatic building extraction from high-resolution aerial images and LiDAR data using gated residual refinement network/ ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing/ Volume 151, May 2019, Pages 91-105.
7. Соколова Н.О. Распознавание контуров зданий на спутниковых изображениях высокого пространственного разрешения./ Н.О.Соколова // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. – Херсон, 2015. – №3(54) - С.610-615.
8. Соколова Н.О. Верификация сегментов зданий путем анализа геометрии. / Н.О.Соколова // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. – Херсон, 2016. – №3(58) - С.149-153.
9. Gnatushenko V. The use of geometrical methods in multispectral image processing. Journal of Automation and Information Sciences, Volume 35, 2003 DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v35.i12.10
10. Соколова Н.О. Використання наявності тіні при розпізнаванні будівель на супутникових зображеннях високого розрізнення./ Н.О.Соколова, Є.О.Обиденний. // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. – Херсон, 2017. – №3(62) Т.1. - С.345-348.

REFERENCES

1. Shedlovska Y.I. Shadow detection and removal using a shadow formation model / Y.I. Shedlovska, V.V. Hnatushenko // Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Stream Mining and Processing, 2016, August, 23 – 27, Lviv, Ukraine, pp.187-190.

2. R.Ghasemi Nejad, P.Pahlavani, B.Bigdeli. Automatic building extraction using a decision tree object-based classification on joint use of aerial and lidar data. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W18, 2019. PP.429-434.
3. Hnatushenko V.V. Informatsionnaya tehnologiya raspoznavaniya zdaniy na mnogokanalnyih fotogrammetricheskih izobrazheniyah vyisokogo prostranstvennogo razresheniya na osnove morfologicheskikh indeksov. / V.V.Hnatushenko, A.A.Kavats, E.B.Galchenko, Yu.V.Kavats // Visnik HNTU. – 2016. - #3(58). - P.195-198.
4. Hsiuhan Lexie Yang, Jiangye Yuan, Dalton Lunga, Melanie Laverdiere, Amy Rose, Budhendra Bhaduri. Building Extraction at Scale using Convolutional Neural Network: Mapping of the United States. JOURNAL OF LATEX CLASS FILES, VOL. 14, NO. 8, AUGUST 2015
5. Yongyang Xu, Liang Wu, Zhong Xie, and Zhanlong Chen. Building Extraction in Very High Resolution Remote Sensing Imagery Using Deep Learning and Guided Filters Remote Sens. 2018, 10, 144; doi:10.3390/rs10010144
6. Jianfeng Huang, Xinchang Zhang, Qinchuan Xin, Ying Sun, Pengcheng Zhang. Automatic building extraction from high-resolution aerial images and LiDAR data using gated residual refinement network/ ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing/ Volume 151, May 2019, Pages 91-105.
7. Sokolova N.O. Raspoznavanie konturov zdaniy na sputnikoviyh izobrazheniyah vyisokogo prostranstvennogo razresheniya. / N.O.Sokolova // Vestn. Herson. nats. tehn. un-ta. – Herson, 2015. – #3(54) - P.610-615.
8. Sokolova N.O. Verifikatsiya segmentov zdaniy putem analiza geometrii. / N.O.Sokolova // Vestn. Herson. nats. tehn. un-ta. – Herson, 2016. – #3(58) - P.149-153.
9. Gnatushenko V. The use of geometrical methods in multispectral image processing. Journal of Automation and Information Sciences, Volume 35, 2003 DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v35.i12.10
10. Sokolova N.O. Viktoristannya nayavnosti tini pri rozpoznavanni budivel na suputnikovih zobrazhennyah visokogo rozrIznennya. / N.O.Sokolova, E.O.Obidenniy. // Vestn. Herson. nats. tehn. un-ta. – Herson, 2017. – #3(62) T.1. - P.345-348.

Received 03.02.2020.

Accepted 10.02.2020.

Информационная технология автоматизированного распознавания зданий

Данная работа посвящена описанию разработанной информационной технологии для задач распознавания зданий на снимках дистанционного зондирования Земли высоко-

го разрешения и верификации результатов распознавания. Проанализированы современные подходы к распознаванию зданий. Предложенная технология основана на анализе гистограмм и сегментации в пространстве признаков. Для верификации результатов распознавания разработаны методики на основе геометрического анализа, теневого анализа и использования метаданных. Результатом работы является векторный файл, содержащий распознанные многоугольные объекты.

The information technology for automated recognition building

The share of space images in the total quantity of Earth remote sensing data is increasing every year. The quality of the data received from the satellites is improving, the accuracy is increasing, the price is being reduced, and the productivity of the new satellites is significantly improving. Automatic building recognition helps save time and system resources for updating geoinformation databases and maintaining up-to-date municipal geodetic data. The analysis of modern methods of building recognition revealed the imperfection of the use of some methods and algorithms, the low number of information technologies for automatic recognition of buildings and the needs to develop a comprehensive approach to address this issue. This paper is devoted to the description of the developed information technology for the tasks of recognizing buildings on high resolution remote sensing images of the Earth and verifying the recognition results. Modern approaches to building recognition are analyzed. Automatic recognition of high resolution satellite images is not effective due to the high heterogeneity of spectral, textural and spatial characteristics. In addition to "preferred" objects (homes and roads), high-resolution images include objects that interfere with spatial recognition (such as trees, cars, and most importantly shadows). The proposed technology is based on five steps: splitting the image into plots with the elimination of vacant plots and determining the type of plot histogram analysis; feature segmentation in image space; validation based on size analysis, geometric and shadow analysis; finding and generalizing the outline of the building. Methods based on geometric analysis, shadow analysis and metadata usage have been developed to verify the recognition results. The result is a vector file that contains recognized polygonal objects. An analysis of commercial buildings has found that a complete run, which includes all stages, improves overall recognition accuracy and reduces manual post processing. Geometry analysis is a crucial step in the overall process with a significant impact on the end result. Size analysis and shadow analysis also play an important role and should be integrated into the process to reduce post-processing efforts.

Соколова Наталя Олегівна - старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (м. Дніпро).

Соколова Наталья Олегівна - старший преподаватель кафедры компьютерных наук и информационных технологий Днепровского национального университета имени Олеся Гончара (г. Днепро).

Sokolova Natalia - senior lecturer of department of computer science and information technologies, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine.

В.Є. Бахрушин

ЗАРАХУВАННЯ ВСТУПНИКІВ ДО ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЯК ЗАДАЧА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Анотація. Проблема аналізу виконання передумов застосування алгоритму Гейла – Шеплі до розподілу вступників є актуальною, оскільки цей алгоритм використовується при прийомі до закладів вищої освіти в Україні та багатьох інших країнах. В роботі визначено основні фактори невизначеності, що стосуються переваг вступників і закладів вищої освіти та впливають на результати розподілу. Перехід до фінансування закладів вищої освіти за результатами діяльності може зменшити вплив цих невизначеностей.

Ключові слова: вища освіта, зарахування вступників, алгоритм Гейла – Шеплі, оптимальність, ефективність, фактори невизначеності, конкурсний бал, пріоритети, фінансування.

Постановка проблеми. Новий Закон України «Про вищу освіту» суттєво змінив базові принципи зарахування вступників до закладів вищої освіти (ЗВО). Основні зміни торкнулися вступу за державним замовленням на денну форму навчання з більшості бакалаврських програм. Вони, зокрема, передбачають [1] проведення «широкого конкурсу» на державне замовлення в межах спеціальностей. Основний етап конкурсу реалізується за модифікованим алгоритмом Гейла-Шеплі [2], який використовують для розв'язування подібних задач в теорії кооперативних ігор. Досвід вступних кампаній трьох останніх років, практика використання подібних методів в інших країнах, теоретичні дослідження моделей розподілу свідчать, що реальні умови можуть істотно відрізнятися від припущень, покладених до основи алгоритму. Однією з істотних відмінностей є наявність невизначеності.

Мета дослідження. Аналіз факторів невизначеності у «широкому конкурсі» та їх можливого впливу на одержувані результати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вихідна математична модель, яку використовують для розподілу вступників за конкурсними пропозиціями ЗВО, відома як задача про мар'яж або задача побудови стійких паросполучень [2, 3]. Вона сформульована і розв'язана ще у першій роботі Гейла та Шеплі [2] для двох модельних випадків, одним з яких є розподіл вступників при вступі до коледжів.

Формальна постановка задачі є такою: маємо дві групи суб'єктів – вступники та конкурсні пропозиції (КП). Для кожного суб'єкта однієї групи задано строгий список пріоритетів суб'єктів іншої групи. Для КП також задано квоти – максимальні кількості вступників, яких можна прийняти на навчання. Необхідно знайти стійкий розподіл вступників за КП. Ознакою нестійкості вважають наявність блокувальних пар «вступник – КП» таких, що для вступника ця КП є більш привабливою, ніж та, до якої він зарахований, а для КП або її квота за цією програмою залишилася незаповненою, або цей вступник є більш бажаним, ніж хтось із зарахованих. Різновидом класичної задачі є ситуація, коли представники однієї чи обох груп не визначають перелік переваг безпосередньо, а задають певний об'єктивний критерій порівняння. Прикладом є «широкий конкурс», де переваги КП визначаються рейтингом вступників, який встановлюють на основі їх конкурсних балів, розрахованих як зважені суми заданих числових показників (бали ЗНО та ін). Зазвичай це не впливає на роботу алгоритму, але в окремих випадках може зменшувати обчислювальну складність задачі [4].

Базовий алгоритм Гейла – Шеплі (алгоритм відкладеної згоди) [2] має два варіанти – орієнтований на вступника та орієнтований на КП. Перший з них передбачає таку послідовність дій. На першому кроці розглядають заявки вступників з першими пріоритетами. Кожна КП, що має квоту q , відбирає q перших за рейтингом вступників і фіксує їх у своєму списку очікування. Якщо кількість вступників з першими пріоритетами менше q , то до списку вносять всіх. Іншим вступникам КП відмовляє у прийомі. Потім розглядають заявки з другими пріоритетами вступників, яким було відмовлено у вступі за першими. При цьому кожна КП переглядає списки очікування, залишає в них перші q вступників з першим і

другим пріоритетами та відмовляє іншим. Далі аналогічно розглядають заяви вступників з наступними пріоритетами. Робота алгоритму закінчується, коли кожний із вступників або включений до одного з листів очікування, або йому відмовлено кожною КП, на які він подавав заяви. Після завершення роботи алгоритму кожна КП зараховує всіх вступників зі списку очікування.

Модель передбачає, що ми аналізуємо повний набір варіантів, а переваги вступників і КП є стійкими і строгими. За цих умов можна довести, що: 1) для будь-якого набору списків існує один чи декілька стійких розв'язків, і цей алгоритм забезпечує отримання одного з них; 2) за наявності декількох стійких розв'язків, якщо спочатку розглядають заяви вступників, одержуваний розв'язок буде найкращим з їх погляду, а у протилежному випадку – найкращим з погляду КП, а якщо ці розв'язки збігаються, то це є свідченням єдиності розв'язку [2, 5]. Аналіз, виконаний в роботі [6] на даних вступної кампанії в Туреччині у 2005 р., показує, що в реальних умовах відмінність між результатами, які дають алгоритми, орієнтовані на вступника і на КП, є незначною.

Важливою проблемою є достовірність інформації, яку суб'єкти надають про свої пріоритети. При використанні варіанту, орієнтованого на вступників, оптимальною стратегією є надання ними правдивої інформації [5]. Але вони не завжди дотримуються такої стратегії. Наслідком може бути те, що цей варіант алгоритму Гейла – Шеплі призведе до розв'язків, які є оптимальними з погляду КП чи навіть до реалізації песимістичного сценарію з погляду вступників [7].

На практиці важливою є також проблема строгості переваг. Найчастіше її аналізують при вивченні розподілу учнів за школами в межах міста чи району. В цьому випадку школи не можуть визначити пріоритети щодо кожного потенційного учня. Тому створюють декілька груп пріоритетів, наприклад, за відстанню від місця проживання потенційного учня до школи, наявністю в нього близьких родичів серед учнів школи тощо. Для усунення невизначеності у таких випадках використовують різні підходи. Зокрема, при застосуванні алгоритму Гейла – Шеплі часто здійснюють випадкове впорядкування потенційних учнів в межах кожної

групи [8]. Але проблема нестрогих переваг є більш загальною і може зустрічатися також в задачі зарахування вступників до ЗВО.

Проблему нестрогих переваг розглянуто в роботі [9], де досліджено три види стійкості розв'язків. Слабко стійкі розв'язки характеризуються відсутністю пар (x, y) , в яких для обох учасників таке сполучення буде строго переважним за їх сполучення в отриманому розв'язку. Для пошуку таких розв'язків можна застосувати алгоритм Гейла – Шеплі чи будь-який інший алгоритм розв'язування класичної задачі. Також можливі сильно стійкі та суперстійкі розв'язки. Перші передбачають відсутність таких сполучень (x, y) , для яких x віддає строгу перевагу y , а y – строгу перевагу x , порівно з його парою в отриманому варіанті, або байдужий стосовно вибору між ними. Умовою суперстійкого розв'язку є відсутність сполучень, де обидва учасники віддають один одному нестрогу перевагу порівняно з отриманим варіантом. В цих випадках теж існують алгоритми, що знаходять відповідні розв'язки, але таких розв'язків може й не існувати.

Актуальною проблемою, є вивчення умов ефективності рівноваги, стійкості та оптимальності розв'язків, а також визначеності стратегій учасників при певних відхиленнях від класичної постановки стосовно квот, обмежень на повноту списків переваг, структури переваг, правдивості інформації про пріоритети (зокрема, перші та другі) та ін. [8, 10]. Алгоритм вважають ефективним, якщо за будь-яких переваг вступників і розподілу їх балів ми отримуємо Парето-ефективний розв'язок в точці рівноваги за Нешем.

Якщо КП крім звичайних квот задаватимуть додаткові обмеження на мінімальну кількість зарахованих вступників, то у випадку, коли для деяких КП цей мінімум в отриманому розв'язку не досягається, стійких розв'язків може не існувати [11]. Також доведено, що при додатковому задаванні окремих квот для груп КП, які є меншими за суму квот КП, що належать до цих груп, стійкість може бути гарантована лише за умови, що ці квоти створюють систему вкладених множин. Тобто для кожної пари квот, які задовольняють умову $S_1 \cap S_2 \neq \emptyset$, справедливо або $S_1 \subseteq S_2$, або $S_2 \subset S_1$ [11].

Алгоритм Гейла – Шеплі та його модифікації використовують для автоматизації вступу до шкіл і закладів вищої освіти в багатьох країнах [6, 12 – 15]. Існують також інші підходи до автоматизації розподілу вступників. Найбільш відомими з них є Бостонський алгоритм та алгоритм головних циклів Шеплі – Скарфа [16, 17]. Кожний з них має певні переваги і недоліки. Важливою перевагою алгоритму Гейла – Шеплі є те, що він забезпечує отримання стійкого розв’язку і його справедливість з погляду вступника. Але він не завжди призводить до ефективного за Парето розв’язку. Станом на 2018 р. різні варіанти автоматизації використовували принаймні 46 країн, що дало змогу зменшити кількість відмов від отриманого місця і збільшити частку вступників, що успішно завершують перший рік навчання [15]. Втім, є дані, що в окремих країнах, де більшість студентів не має можливості компенсувати свої помилки при визначенні пріоритетів вступом на небюджетні програми, спостерігаються негативні наслідки у вигляді черг на отримання бажаного місця і неможливості кращих вступників потрапити на найбільш привабливі для них КП [18].

Викладення основного матеріалу дослідження. Досвід вступних кампаній до ЗВО України у 2016 – 2019 р. свідчить, що базові припущення алгоритму Гейла – Шеплі виконуються не повною мірою.

Вступники з різних причин можуть відмовитися від наданого бюджетного місця і вступити за контрактом на інші освітні програми. Найчастіше це пов’язане з їх неспроможністю надати стійке ранжирування великої кількості альтернатив (лише на бюджетну форму – 15 у 2016 р., 9 у 2017 р., 7 у 2018 та 2019 р.). Не завжди вступники та їх батьки здатні врахувати всі фактори, що впливатимуть на їх підсумкове рішення, зокрема, імовірність отримання стипендії, наявність гуртожитку, побутові умови, додаткові фінансові витрати на проживання в іншому місті та ін. До того ж існує асиметрія інформації, через яку вступники на час подання заявок не завжди мають потрібні для обґрунтованого вибору дані про КП. Школа не формує необхідних знань і навичок прийняття рішень. Нерідко вступники визначають пріоритетності заяв під впливом батьків або друзів. Через це втрачається строга впорядкованість альтернатив з по-

гляду вступника. Наслідком їх відмов стає вивільнення бюджетних місць, які неможливо розподілити в межах класичного алгоритму. За даними [19] у 2019 р. загалом відмовилися від бюджетних місць 12,9% вступників, у тому числі за першим пріоритетом – 4,2%, за другим – 16,8%, за третім – 25,3%, за четвертим – 30,1%, за п'ятим – 34,7%, за шостим – 35,8%, за сьомим – 42,4%.

КП мають право встановлювати свої переваги у вигляді складників і вагових коефіцієнтів формули розрахунку конкурсного бала задовго до початку вступної кампанії. Тут невизначеність виникає через статистичні похибки вихідних показників, які за своєю природою є результатом статистичних вимірювань. Іншим фактором невизначеності є те, що різні ЗВО для одних і тих самих спеціальностей встановлюють різні складники конкурсного бала та їх вагові коефіцієнти. Тому постає проблема порівнянності конкурсних балів в межах спеціальності. На рис. 1 зображено розподіл різниць між максимальними і мінімальними рейтингами в групі з 1000 вступників при розрахунку їх конкурсних балів за одними й тими самими наборами складників, але з різними значеннями відповідних вагових коефіцієнтів, які використовували два різні ЗВО. «Результати ЗНО» вступників були отримані генеруванням випадкових чисел з розподілом, наближеним до реальних даних. Результати свідчать, що відмінність між максимальним та мінімальним рейтингами окремих вступників через різні вагові коефіцієнти може перевищувати 100 позицій.

На практиці у 2018 та 2019 р. вступник міг обрати третій предмет ЗНО з двох пропонованих варіантів, тому реальна невизначеність є ще більшою. Найпростішим рішенням є визначення єдиних для всіх ЗВО складників та вагових коефіцієнтів в межах спеціальності чи галузі знань. Подібну практику, зокрема, використовують у Туреччині [6], де всі вступники складають єдиний тест, який містить п'ять компонент: математику, турецьку мову, науки, соціальні науки та іноземну мову. Підсумковий бал розраховують, як зважену суму оцінок за цими компонентами. При цьому вагові коефіцієнти визначаються спеціальностями і є єдині-

ми для всіх в межах спеціальності. Втім, такий варіант обмежуватиме автономію ЗВО, гарантовану Законом про вищу освіту.

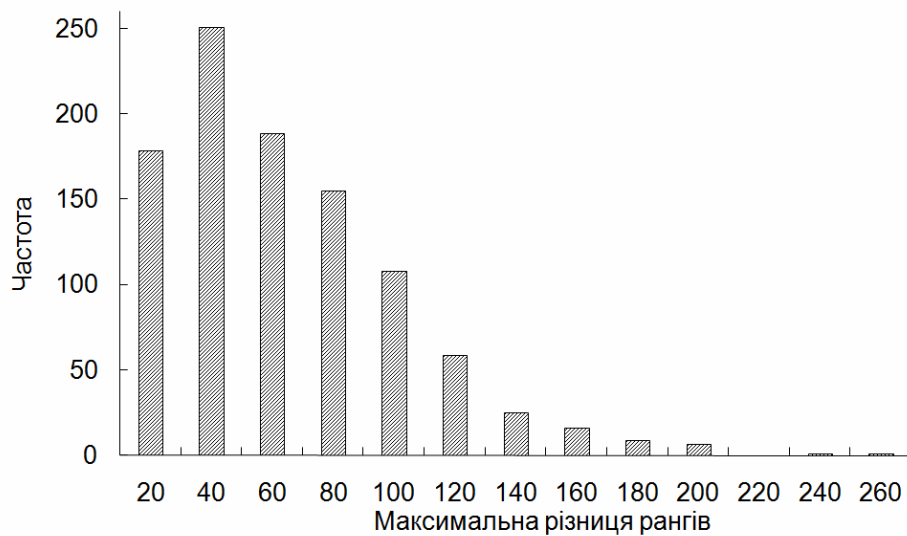


Рисунок 1 – Розподіл максимальних різниць рейтингів вступників при розрахунку конкурсних балів з використанням різних наборів вагових коефіцієнтів і однакових складників

Суттєвою відмінністю від класичної задачі є те, що в Україні одночасно з розподілом вступників за КП розв'язується задача розподілу державного замовлення. Це породжує суперечність між правом ЗВО встановлювати власні формули розрахунку конкурсного бала і необхідністю порівняння вступників за цими балами у конкурсі на державне замовлення в межах спеціальності або галузі. Вирішенню цієї проблеми може сприяти запровадження нового механізму фінансування закладів вищої освіти. Але він може породити інші проблеми, зокрема, пов'язані з визначенням квот для КП, за яких надане фінансування буде достатнім для забезпечення якості вищої освіти.

Для зменшення впливу зазначених невизначеностей можуть використовуватися штрафи за відмову від наданого бюджетного місця, обмеження кількості безкоштовних заявок та інші заходи. Альтернативний підхід може базуватися на використанні для визначення переваг КП відомих методів прийняття багатокритеріальних рішень в умовах невизначеності [3]. При цьому цільова функція та/або обмеження мають враховувати інтереси як вступників, так і держави та ЗВО.

При вступі до українських ЗВО вступники здійснюють вибір щонайменше за двома критеріями – ЗВО та освітня програма (спеціальність). Це ускладнює визначення пріоритетів і може призводити до виникнення нетранзитивності переваг. Ще одна особливість полягає у тому, що вступник, який відмовився від отриманого місця може вступати на навчання за кошти фізичних осіб на більш привабливу для нього КП. Це створює проблеми для ЗВО, але зменшує ризики для вступника.

Висновки. Отримані дані свідчать, що деякі передумови застосування алгоритму Гейла – Шеплі при прийомі вступників до закладів вищої освіти в Україні не виконуються через наявність низки факторів невизначеності. Це може призводити до того, що розподіл вступників не завжди буде оптимальним з погляду вступників та ефективним (за Парето). Зменшити вплив невизначеностей можуть перехід до фінансування ЗВО за результатами діяльності. У цьому випадку, алгоритм Гейла – Шеплі може використовуватися для визначення лише частки фінансування, спрямованої на компенсацію витрат закладів на навчання студентів, які отримали за конкурсом право вчитися безоплатно. Але такий механізм потребує перегляду методики визначення максимальних квот для конкурсних програм.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про вищу освіту». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
2. Gale D. College Admissions and the Stability of Marriage / D. Gale and L. S. Shapley // The American Mathematical Monthly, Vol. 69, No. 1 (Jan., 1962), pp. 9-15.
3. Доценко С.И. Математические модели стабильных размещений. – Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2013. – № 2 (112). С. 3 – 13.
4. Robert W. Irving, David F. Manlove, Sandy Scott. The stable marriage problem with master preference lists. Discrete Applied Mathematics. 2008. V. 156, I. 15, 6 P. 2959–2977.
5. David Gale, Marilda Sotomayor. Some remarks on the stable matching problem. Discrete Applied Mathematics. 1985. V. 11, I. 3. P. 223-232.

6. Tolga Yuret, M. Kadir Doğan. Comparative advantage and preferences in college admissions in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 15, 2011, P. 1862-1865.
7. Jinpeng Ma. The singleton core in the college admissions problem and its application to the National Resident Matching Program (NRMP). *Games and Economic Behavior*, 2010, vol. 69, issue 1, pages 150-164.
8. Braun, Sebastian Till and Dwenger, Nadja and Kübler, Dorothea F. and Westkamp, Alexander, Implementing Quotas in University Admissions: An Experimental Analysis (December 28, 2011). Working Paper of the Max Planck Institute for Tax Law and Public Finance No. 2011-22. URL: <http://cramton.umd.edu/market-design/braun-dwenger-kubler-westkamp-quotas.pdf>.
9. Robert W. Irving. Stable marriage and indifference. *Discrete Applied Mathematics*. 1994. V. 48, I. 3. – P. 261-272.
10. H. Ergin, Efficient resource allocation on the basis of priorities, *Econometrica*. 2002. V. 70, No 6, p. 2489–2497.
11. Péter Biró, Tamás Fleiner, Robert W. Irving, David F. Manlove. The College Admissions problem with lower and common quotas. *Theoretical Computer Science* 411 (2010) 3136–3153.
12. Min Zhu. College admissions in China: A mechanism design perspective. *China Economic Review*, Volume 30, September 2014, Pages 618-631.
13. Péter Biró. Student Admissions in Hungary as Gale and Shapley Envisaged. TR-2008-291. Dept of Computing Science, University of Glasgow. P. 1 – 7. URL: http://www.dcs.gla.ac.uk/publications/PAPERS/8999/ca_tr.pdf
14. Yan Chen, Onur Kesten Chinese college admissions and school choice reforms: An experimental study. *Games and Economic Behavior* 115 (2019), P. 83-100.
15. Adam Kapor, Mohit Karnani, Christopher Neilson. Negative Externalities of Off Platform Options and the Efficiency of Centralized Assignment Mechanisms (2019). URL: https://christopherneilson.github.io/work/documents/Platforms/platform_externalities.pdf.
16. Wu, Binzhen and Zhong, Xiaohan, Matching Mechanisms and Matching Quality: Evidence from a Top School in China (April 11, 2013). Available at SSRN: URL: <https://ssrn.com/abstract=1909515> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1909515>.

17.Е. Железова, С. Измалков, К. Сонин, И. Хованская. Теория и практика двусторонних рынков (Нобелевская премия по экономике 2012 года). Вопросы экономики, № 1, 2013. – С. 4 – 26.

18.Kristian Koerselman. Why Finnish polytechnics reject top applicants. URL: <https://arxiv.org/pdf/1908.05443.pdf>

19.Гриневич Л. Підсумки вступної кампанії 2019 р. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2019/2019/08/06/MON-05-08-2019-VSTUP.pdf>

REFERENCES

1. The Law of Ukraine «On Higher Education». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.

2. Gale D. College Admissions and the Stability of Marriage / D. Gale and L. S. Shapley // The American Mathematical Monthly, Vol. 69, No. 1 (Jan., 1962), pp. 9-15.

3. Dotsenko S.I. Mathematical models of stable placements. – Journal of Computational & Applied Mathematics. – 2013. – № 2 (112). С. 3 – 13.

4. Robert W. Irving, David F. Manlove, Sandy Scott. The stable marriage problem with master preference lists. Discrete Applied Mathematics. 2008. V. 156, I. 15, 6 P. 2959–2977.

5. David Gale, Marilda Sotomayor. Some remarks on the stable matching problem. Discrete Applied Mathematics. 1985. V. 11, I. 3. P. 223-232.

6. Tolga Yuret, M. Kadir Doğan. Comparative advantage and preferences in college admissions in Turkey. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 15, 2011, P. 1862-1865.

7. Jinpeng Ma. The singleton core in the college admissions problem and its application to the National Resident Matching Program (NRMP). Games and Economic Behavior, 2010, vol. 69, issue 1, pages 150-164.

8. Braun, Sebastian Till and Dwenger, Nadja and Kübler, Dorothea F. and Westkamp, Alexander, Implementing Quotas in University Admissions: An Experimental Analysis (December 28, 2011). Working Paper of the Max Planck Institute for Tax Law and Public Finance No. 2011-22. URL: <http://cramton.umd.edu/market-design/braun-dwenger-kubler-westkamp-quotas.pdf>.

9. Robert W. Irving. Stable marriage and indifference. Discrete Applied Mathematics. 1994. V. 48, I. 3. – P. 261-272.

10. H. Ergin, Efficient resource allocation on the basis of priorities, *Econometrica*. 2002. V. 70, No 6, p. 2489–2497.
11. Péter Biró, Tamás Fleiner, Robert W. Irving, David F. Manlove. The College Admissions problem with lower and common quotas. *Theoretical Computer Science* 411 (2010) 3136–3153.
12. Min Zhu. College admissions in China: A mechanism design perspective. *China Economic Review*, Volume 30, September 2014, Pages 618–631.
13. Péter Biró. Student Admissions in Hungary as Gale and Shapley Envisaged. TR-2008-291. Dept of Computing Science, University of Glasgow. P. 1 – 7. URL: http://www.dcs.gla.ac.uk/publications/PAPERS/8999/ca_tr.pdf
14. Yan Chen, Onur Kesten Chinese college admissions and school choice reforms: An experimental study. *Games and Economic Behavior* 115 (2019), P. 83–100.
15. Adam Kapor, Mohit Karnani, Christopher Neilson. Negative Externalities of Off Platform Options and the Efficiency of Centralized Assignment Mechanisms (2019). URL: https://christopherneilson.github.io/work/documents/Platforms/platform_externality.pdf.
16. Wu, Binzhen and Zhong, Xiaohan, Matching Mechanisms and Matching Quality: Evidence from a Top School in China (April 11, 2013). Available at SSRN: URL: <https://ssrn.com/abstract=1909515> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1909515>.
17. Zhelezova E., Izmalkov S., Sonin K., Khovanskaia I. Theory and Practice of Bilateral Markets (2012 Nobel Prize in Economics). *Voprosy Ekonomiki*, № 1, 2013. – С. 4 – 26.
18. Kristian Koerselman. Why Finnish polytechnics reject top applicants. URL: <https://arxiv.org/pdf/1908.05443.pdf>
- L. Hrynevych The results of the 2019 admission campaign. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2019/2019/08/06/MON-05-08-2019-VSTUP.pdf>

Received 17.02.2020.

Accepted 20.02.2020.

Зачисление абитуриентов в учреждения высшего образования, как задача многокритериального принятия решений в условиях неопределенности

Проанализированы некоторые проблемы распределения мест государственного заказа по алгоритму Гейла - Шепли. Опыт приемных кампаний 2016 – 2019 гг. показывает, что условия применимости этого алгоритма в реальных условиях Украины выполняются не полностью. В частности, существует ряд факторов неопределенности, которые мо-

гут приводить к потере свойств оптимальности и эффективности результатов распределения.

Admission of applicants to higher education institutions as a problem of multi-criteria decision making under uncertainty

Gale – Shapley algorithm and its modifications are used to automate entry to education institutions in many countries. The initial version of the algorithm is deterministic and assumes the presence of strict preferences of all participants. Subsequently, a number of papers were published, which analyze the effect of various deviations from these assumptions on the results.

Some problems of the distribution of state order for higher education applicants by the Gale – Shapley algorithm are discussed. The formulation of the problem is as follows: we have two groups of subjects - applicants and competitive offers. Each subject in one group set a strict priorities list among the subjects of the other group. Competitive offers also have quotas - the maximum number of applicants that can be admitted for training. It is need to find the stable distribution of applicants by the competitive offers. The model assumes that we analyze a complete set of options, and the priorities of applicants and higher education institutions are sustainable and rigorous. There is the data, that deviations from the classic model concerning quotas, limitations on completeness of priorities lists, structure of priorities, truthfulness of priorities information (in particular, first and second) and so on can break equilibrium, its optimality and robustness, as well as the certainty of participant strategies.

The experience of the admission campaigns to the higher education institutions of Ukraine in 2016 – 2019 shows that the basic assumptions of the Gale-Shepley algorithm are not fully satisfied. In particular, there are a number of uncertainty factors that can lead to the loss of optimality and efficiency of distribution results. Most of applicants and their parents can't take into account all the factors that will affect their final decision. There is the information asymmetry through which applicants have no required data to make reasonable choice at the time of application. The school does not form the necessary knowledge and skills of decision-making. Another uncertainty factor is the statistical errors of competitive score constituents, which by its nature are the results of statistical measurements. The peculiarity of applying the algorithm in Ukraine is that together with the distribution of entrants between the competitive offers, the allocation of budget places within the fields of study is carried out. At that it is need to compare the competitive scores of the applicants, which for different higher education institutions are calculated by similar but somewhat different formulas. These problems can be solved or partially diminished by implementing the performance-based funding of higher education institutions and increasing their institutional and financial autonomy.

Бахрушин Владимир Евгеньевич - профессор, д.физ.-мат.н., профессор кафедры системного анализа и вычислительной математики Национального университета «Запорожская политехника».

Бахрушин Володимир Євгенович – професор, д.фіз.-мат.н., професор кафедри системного аналізу та обчислювальної математики Національного університету «Запорізька політехніка»

Volodymyr Bakhrushyn – professor, D.Sc. (Phys. & Math.), professor of the System Analysis and Calculative Mathematics department of the Zaporizhzhia Polytecnic National University.

Ю.В. Бразалук, А.И. Губин, А.В. Давыдова,
В.С. Дерий, Д.В. Евдокимов, Ю.А. Малая

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛЛОННЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ГАЗА

Аннотация. В работе рассмотрены процессы истечения газа через пористую вставку из баллона высокого давления, используемого для газоснабжения космического летательного аппарата в длительном полете. Для описания процесса фильтрации была использована математическая модель изотермической фильтрации газа. Применение асимптотического подхода позволило свести описание процесса фильтрации к краевой задаче для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка, которую удалось решить аналитически. Показано, что в качестве управляющих параметров процесса истечения газа можно использовать температуру газа внутри баллона или давление газа на выходе пористой вставки. Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в ракетно-космической технике и других областях, связанных с хранением сжатого газа.

Ключевые слова: сжатый газ, инертный газ, баллон высокого давления, температура газа, изотермическая фильтрация газа, асимптотический метод, аналитическое решение, космический летательный аппарат, длительный полет.

Введение. Многочисленные технические системы и производственные технологии предусматривают длительное хранение газов и их потребление в весьма малых количествах, но на протяжении длительного времени. Нередко такие системы используются в авиации и ракетно-космической технике, где емкость, содержащую газ, приходится перевозить на движущемся транспортном средстве. Дальнейшее рассмотрение проведем на примере космических летательных аппаратов, в том числе искусственных спутников и орбитальных станций. Актуальность вопросов обеспечения надлежащего функционирования таких систем непосредственно определяет важность тематики настоящего исследования для современной науки и техники.

© Бразалук Ю.В., Губин А.И., Давыдова А.В.,
Дерий В.С., Евдокимов Д.В., Малая Ю.А., 2020

В современных космических летательных аппаратах зачастую возникает потребность использовать газообразные вещества как для обеспечения функционирования таковых аппаратов, так и с целью проведения научных исследований. Чаще всего, благодаря специфическим физико-химическим, теплофизическим и механическим свойствам в космических летательных аппаратах применяют инертные газы (аргон, ксенон, криптон, гелий). Благодаря специфике условий длительного космического полета (условия микрогравитации, трудноконтролируемый тепловой режим аппарата) проблема хранения и дозирования расхода газов при их использовании представляется весьма нетривиальной и требующей специальных теоретических и экспериментальных исследований. Настоящая работа, главным образом, посвящена разработке методик расчета условий хранения газов на борту космических летательных аппаратов и управления их расходом.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В обычной наземной технике существует три основных способа обеспечения поставки газа для работы технических устройств: хранение газов под высоким давлением в специально спроектированных баллонах; применение газогенераторов; применение парогенераторов. В условиях космического полета, с учетом необходимости сохранять герметичность системы и не допускать в ней больших скачков давления, использование газогенераторов и парогенераторов представляется затруднительным. Поэтому предпочтение отдается баллонам со сжатым газом под достаточно высоким давлением. Традиционные системы дозирования расхода газа также плохо применимы в условиях космического полета. Как будет показано ниже, наиболее простым и приемлемым решением в данном случае является управление состоянием газа и расходом его в соответствии с потребностями функционирования космической системы при помощи регулирования температурного режима баллона, содержащего газ. Вторым элементом управления расходом газа, обеспечивающим достаточно малые расходы, является пористая вставка на выходе из баллона.

Расчет хранения и расходования газа безусловно усложняется весьма малыми темпами опорожнения баллона, что вынуждает рассчитывать этот процесс на протяжении длительного времени, что затруднительно с вычислительной точки зрения. Как будут показано ниже, безразмерное время процесса расходования газа, входящее в обыкновенное дифференциальное уравнение, которое описывает опорожнение баллона, и безразмерное время процесса фильтрации газа через тонкую пористую вставку весьма разнятся по порядку величин. Налицо многомасштабный процесс, связанный со всеми специфическими вычислительными трудностями и особенностями, присущими таким процессам. Чтобы преодолеть упомянутые трудности, в настоящей работе использовался специально разработанный асимптотический алгоритм, позволяющий проводить расчет в «медленном времени» и тем самым заметно экономить вычислительные ресурсы.

Актуальность данной работы не вызывает ни малейшего сомнения в силу необходимости снабдить разрабатываемые космические летательные аппараты и установленные на них научно-исследовательские приборы и технические устройства надлежащим количеством газообразных веществ.

Анализ последних достижений и публикаций по тематике исследования. Термодинамика хранения газов в сжатом состоянии в специальных баллонах к настоящему времени достаточно хорошо изучена и отражена в известных монографиях [1–3], однако вопросы регулирования сверхмалых расходов газа в указанных книгах и других специализированных изданиях практически не отражены, хотя способ уменьшения расхода при помощи пористых вставок общеизвестен [4–7]. Что касается процессов фильтрации газа через пористые вставки и другие тонкие пористые тела, то общая теория таких течений содержится в многочисленных книгах по фильтрации, например [5–7], а частные математические модели фильтрационных течений рассматриваемого класса предложены в работе [8]. Вопросы асимптотических методов построения упрощенных математических моделей физических процессов отражены в общеизвестных монографиях по асимптотическому анализу [9–11].

Термодинамические свойства газообразных веществ для проведения расчетов могут быть найдены в справочном издании [12].

Цель работы. Основываясь на вышеизложенном, цель настоящей работы можно сформулировать следующим образом: разработка математической модели процессов хранения и расходования газообразных веществ в баллонах высокого давления и применение разработанного подхода к проблеме обеспечения инертными газами оборудования на борту космических аппаратов разного функционального назначения.

Основной материал исследования. Рассмотрим баллон объема V , первоначально заполненный некоторым сжатым газом с параметрами: масса m_0 , молекулярная масса μ , плотность $\rho_0 = m_0/V$, температура T_0 и давление p_0 . Соответственно, в процессе опорожнения актуальные параметры обозначим через m , ρ , T и p . В дальнейшем при разработке физической модели будем полагать, что указанный газ относится к инертным газам, в противном случае необходимо провести дополнительный анализ, который, впрочем, качественно не изменит изложенной в дальнейшем расчетной схемы. Пусть из баллона газ истекает через пористую вставку. Не уменьшая общности, предположим, что вставка имеет постоянные пористость, коэффициент фильтрации и выполнена в форме кругового цилиндра (рис. 1).

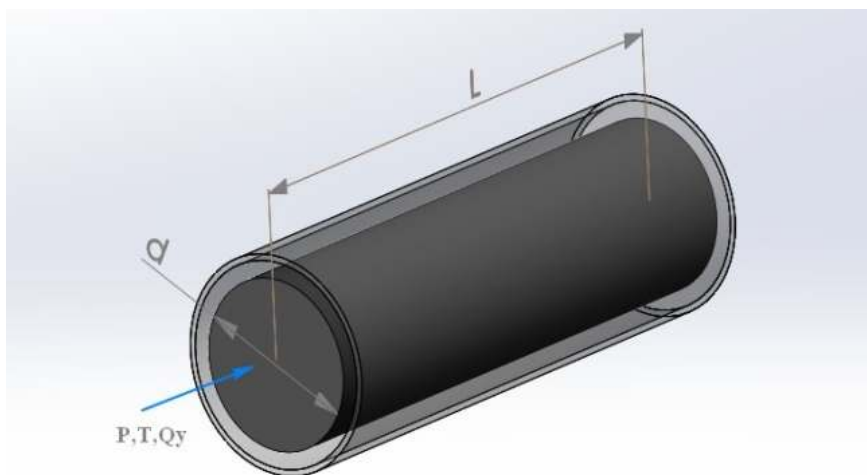


Рисунок 1 - Пористый элемент

Одноатомные инертные газы хорошо соответствуют уравнению состояния идеального газа [1]

$$p_0 V_0 = \frac{m_0}{\mu} R T_0 \text{ или } pV = \frac{m}{\mu} R T, \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная. Соотношения (1) иногда удобно записывать, используя плотность газа

$$\frac{p_0}{\rho_0} = R^* T_0 \text{ или } \frac{p}{\rho} = R^* T, \quad (2)$$

где R^* – газовая постоянная данного газа.

Обозначив фильтрационный поток газа через пористую вставку через q (q_0 в начальный момент времени, соответственно), можно записать количественные соотношения для опорожнения газового баллона

$$\frac{dm}{dt} = q, \quad (3)$$

$$m(t=0) = m_0, \quad (4)$$

где t – время.

Задача Коши (3), (4) может быть проинтегрирована численно любым из численных методов решения подобных задач [13], однако рассмотрим простейшие частные случаи аналитического интегрирования. Во-первых, случай $q = \text{const}$, тогда

$$m = m_0 + qt. \quad (5)$$

Здесь масса не возрастает с течением времени, поскольку при опорожнении баллона $q < 0$. Во-вторых, случай $q(t)$, тогда

$$m = m_0 + \int_{t_0}^t q(t) dt. \quad (6)$$

Наконец, случай зависимости расхода от массы газа в баллоне $q(m)$, тогда

$$\int \frac{dm}{q(m)} = t + c, \quad (7)$$

где постоянная c может быть найдена из условия (4). Отметим, что решение (5) является частным случаем решений (6) и (7), но выделено в отдельное предоставление из-за практической важности.

Для дальнейшего анализа предоставляется целесообразным безразмерить задачу Коши (3), (4) следующим образом

$$\bar{m} = \frac{m}{m_0}, \quad \bar{q} = \frac{q}{q_0}, \quad (8)$$

тогда

$$\frac{d\bar{m}}{d\bar{t}} = \bar{q}, \quad (9)$$

$$\bar{m}(t = 0) = 1, \quad (10)$$

где

$$\bar{t} = \frac{t q_0}{m_0}. \quad (11)$$

Однако

$$\frac{q_0}{m_0} \ll 1. \quad (12)$$

Это условие длительной эксплуатации баллона для газоснабжения. Тогда время, определенное соотношением (11) можно назвать «медленным временем».

Прежде чем перейти к анализу фильтрационного течения в пористой вставке, целесообразным представляется сделать некоторые замечания относительно технологии газоснабжения из баллона. Управляющими параметрами процесса фильтрации могут быть только давление на внутренней и внешней сторонах пористой вставки. Если давление на внешней стороне определяется теплофизическими особенностями функционирования системы, потребляющей газ, то есть не может изменяться произвольным образом для изменения расхода газа, то давление внутри баллона может и должно изменяться с целью управления процессом газоснабжения. Изменение давления внутри баллона механическими способами (например, изменением V в (1), (2)) труднореализуемо по техническим причинам, зато изменение температуры баллона (T в (1), (2)) может быть выполнено относительно легко, поэтому в дальнейшем будем полагать, что управление режимом фильтрации будет производиться только при помощи нагрева (охлаждения) баллона.

Дабы избежать путаницы в обозначениях, в уравнении фильтрации для давления будем использовать большую букву P , тогда, полагая, что фильтрационное течение описывается законом Дарси [4–6]:

$$\vec{u} = -k \operatorname{grad} P, \quad (13)$$

где \bar{u} – скорость фильтрационного течения, k – коэффициент фильтрации, оператор $grad$ понимается в традиционном смысле; можно получить следующее уравнение изотермической фильтрации газа [5]

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{k}{2\sigma} \Delta(P^2), \quad (14)$$

где σ – пористость среды, Δ – оператор Лапласа. Величина $\chi = \frac{k}{2\sigma}$ зависит от структуры пористого материала. Уравнение (14) в рассматриваемом случае является одномерным по пространству, то есть

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2}. \quad (15)$$

Обезразмерим уравнение (15)

$$\frac{\partial P^*}{\partial t^*} = \frac{\partial^2 P^{*2}}{\partial x^{*2}}, \quad (16)$$

где $P^* = P/p_0$, $x^* = x/L$ (L – длина пористой вставки), $t^* = \frac{t\chi p_0}{L^2}$. Однако, использование безразмерного времени t^* для процесса опорожнения неудобно, а желательно перейти к масштабу времени \bar{t} (11).

$$\frac{\partial P^*}{\partial \bar{t}} \frac{\bar{t}}{t^*} = \frac{\partial^2 P^{*2}}{\partial x^{*2}}. \quad (17)$$

Обозначим

$$\varepsilon = \frac{\bar{t}}{t^*} = \frac{\frac{tq_0}{m_0}}{\frac{t\chi p_0}{L^2}} = \frac{q_0 L^2}{\chi m_0 p_0}. \quad (18)$$

Величина ε в силу условия (12) является малой ($\varepsilon \ll 1$). Уравнение (17) должно быть дополнено начальными и граничными условиями

$$P^*(t=0) = p_0, \quad (19)$$

$$P^*(x^*=0) = P, \quad (20)$$

$$P^*(x^*=1) = P_{out}, \quad (21)$$

где P_{out} – известная функция времени (правда, как правило $P_{out} = const$).

Уравнение (17) включает малый параметр ε , применим к нему метод малого параметра, согласно которому решение отыскивается в виде

$$P^* = P^{*0} + \varepsilon P^{*1} + \varepsilon P^{*2} + \dots \quad (22)$$

Подставляя разложение (22) в уравнение (17), группируя и приравнявая 0 суммы коэффициентов при одинаковых степенях ε , получим следующую последовательность дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial^2 (P^{*0})^2}{\partial x^{*2}} = 0, \quad (23)$$

$$\frac{\partial^2 (P^{*1})^2}{\partial x^{*2}} = \frac{\partial P^{*0}}{\partial \bar{t}}, \quad (24)$$

для которых с учетом граничных условий (20), (21) легко формулируются соответствующие краевые задачи.

При достаточно медленных процессах опорожнения можно ограничиться рассмотрением только краевой задачи для уравнения (23). При этом начальные условия для такой краевой задачи не нужны, а граничные условия (20), (21) могут быть использованы без изменений. Уравнение (23) имеет очевидный первый интеграл

$$(P^{*0})^2 = ax^* + b. \quad (25)$$

С учетом условий (20), (21)

$$b = p^2, \quad a = P_{out}^2 - p^2. \quad (26)$$

Таким образом, задачу фильтрации газа в нулевом приближении можно считать решенной. В полученном решении P^* и P_{out} могут зависеть от времени, но если зависимость от времени величины P_{out} задается в граничном условии (21), то зависимость от времени величины P^* определяется ходом протекания процесса опорожнения баллона и нагревом (охлаждением) последнего. Возвращаясь к размерным переменным, запишем формулу для величины расхода

$$q = \rho Su, \quad (27)$$

где S – площадь поперечного сечения пористой вставки, u – скорость фильтрационного течения, определяемая законом Дарси (13).

С прикладной точки зрения и в соответствии с целями и задачами настоящей работы наибольший интерес представляет случай $q = \text{const}$, описываемый решением (5). Разделив обе стороны равенства (5) на объемом V , получим закон изменения плотности при постоянном расходе

$$\rho = \rho_0 + \frac{q}{V}t. \quad (28)$$

Из условия постоянства расхода (27) и закона изменения плотности (28) следует закон изменения скорости (площадь поперечного сечения S постоянна)

$$u = \frac{q}{S(\rho_0 + qt)}, \quad (29)$$

но по закону Дарси (13) и в силу решения (25), запишем в размерном виде следующие соотношения:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{P_{out}^2 - p^2}{2Lp}, \quad (30)$$

$$-k \frac{P_{out}^2 - p^2}{2Lp} = \frac{q}{S(\rho_0 + qt)}. \quad (31)$$

Полученное уравнение (31) можно рассматривать как квадратное уравнение для определения давления в баллоне

$$p^2 - \frac{2qL}{S\left(\rho_0 + \frac{qt}{V}\right)}p - P_{out}^2 = 0. \quad (32)$$

Понятно, что при решении уравнения (32) из двух его корней (а они всегда существуют, поскольку дискриминант этого уравнения положителен) следует выбирать положительный корень. В силу соотношений (2) температура газа в баллоне связана с давлением следующим соотношением

$$T = \frac{p}{R\rho}, \quad (33)$$

а это означает, что для поддержания постоянного значения расхода газа, к нему должно быть подведено количество теплоты

$$Q = mc_v \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (34)$$

где c_v – теплоемкость газа при постоянном объеме.

Кроме того, к самому баллону должно быть подведено количество теплоты, компенсирующее его теплообмен с окружающей средой, однако анализ указанного процесса теплообмена далеко выходит за рамки настоящей работы, поскольку является частью общего расчета теплового режима космического летательного аппарата.

Замечание. При непостоянном заданном расходе газа q и переменном внешнем давлении P_{out} , которое также полагается заданным, схема расчета принципиально остается такой же самой, однако некоторые процедуры расчета усложняются. Поскольку побудительным мотивом варьирования указанных функций являются релевантные процедуры функционирования летательного космического аппарата, здесь этот вопрос рассматриваться не будет.

Анализ полученных результатов. В настоящей работе предложена математическая модель и построено приближенное аналитическое решение (в нулевом приближении) для процесса истечения газа из баллона, закрытого пористой вставкой. Точность предложенной математической модели определяется следующими моментами: правомерностью использования уравнения состояния идеального газа, что подтверждено обширным опытом применения такого подхода для расчета термодинамических процессов в инертных газах при умеренных температурах и не сверхвысоких давлениях; правомерностью использования модели изотермической фильтрации газа, что также подтверждается обширным опытом успешного проведения подобного рода расчетов в практических целях; точностью построенной асимптотической математической модели фильтрации, как можно показать, погрешность данной модели имеет порядок ε , а по условиям задачи ε является достаточно малой величиной. Все остальные этапы решения были проделаны аналитически и не вносили дополнительной погрешности.

Несмотря на то, что в настоящей работе не рассматривалась схема нагрева (охлаждения) баллона, можно рекомендовать поместить нагревательные элементы внутрь баллона, чтобы уменьшить теплотери в окружающее пространство. Случай, когда для поддержания заданного режима опорожнения требуется охлаждение баллона, с конструктивно-

технологической точки зрения является нежелательным, хотя предложенная математическая модель и соответствующий ей метод расчета вполне допускают случай охлаждения баллона. Вопросы управления процессом опорожнения баллона со сжатым газом через пористую вставку при помощи нагрева или охлаждения баллона также могут быть поставлены в рамках предложенной математической модели. Однако в настоящей работе эти вопросы не рассматривались, поскольку для анализа этого процесса необходимо определить тепловой режим отсека, в котором установлен баллон.

Выводы и анализ перспектив дальнейших исследований.

Применение асимптотического подхода позволило построить достаточно простую приближенную асимптотическую математическую модель процесса опорожнения газового баллона с экстремально малым расходом газа. В нулевом приближении построенная модель допускает элементарное аналитическое решение, что выгодно отличает ее от альтернативных подходов, требующих численного анализа.

Обеспечение функционирования систем космических летательных аппаратов во время длительных полетов зачастую требует нетрадиционных технических решений. Одним из таких решений является использование пористых вставок в качестве дозатора в системе газоснабжения. В настоящей работе показано, что расчет указанных типов систем газоснабжения может быть проведен при помощи несложных аналитических методов. Полученное решение представляет интерес не только для развития ракетно-космической техники, но для других областей техники и технологий, где предусмотрено хранение и использование сжатых газов.

Перспективы дальнейших исследований совершенно очевидны и заключаются во включении разработанной расчетной схемы в качестве составной части в общую расчетную схему космического летательного аппарата, что обеспечит возможности комплексного анализа рассматриваемых процессов совместно с процессами, функционально с ними связанными.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРИРУРА

1. Беляев Н. М. Термодинамика / Н. М. Беляев. – К.: Вища школа, 1987. – 382 с.
2. Павловский В. А. Введение в термодинамику реальных газов: Монография ФГУП «Крыловский государственный научный центр» / В. А. Павловский. – СПб., 2013. – 230 с.
3. Павловский В. А. Моделирование динамики заполнения резервуара реальным газом / В. А. Павловский, А. Л. Чистов. – СПб., 2013.
4. Пилатовский В. П. Основы гидромеханики тонкого пласта / В. П. Пилатовский. – М.: Недра, 1966. – 317 с.
5. Барренблатт Г. И. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа / Г. И. Барренблатт, В. М. Ентов, В. М. Рыжик. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
6. Коллинз Р. Течения жидкостей через пористые материалы / Р. Коллинз. – М.: Мир, 1964. – 352 с.
7. Петрянов И. В. Волокнистые фильтрующие материалы ФП / И. В. Петрянов, В. И. Козлов, П. И. Басманов, Б. И. Огородников. – М.: Химия, 1968. – 79 с.
8. Бразалук Ю. В. Асимптотические математические модели фильтрации газа через тонкую стенку. Часть 1. Постановка проблемы, изотермический случай / Ю. В. Бразалук, А. И. Губин, А. В. Давыдова, Д. В. Евдокимов, М. А. Стояновский, Р. А. Шульга // Системи проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – Том 24. – Д.: Ліра, 2018. – С. 15-40.
9. Найфэ А. Х. Методы возмущений / А. Х. Найфэ. – М.: Мир, 1976. – 456 с.
10. Коул Д. Д. Методы возмущений в прикладной математике / Д. Д. Коул. – М.: Мир, 1972. – 276 с.
11. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости / М. Ван-Дайк. – М.: Мир, 1967. – 296 с.
12. Гурвич Л. В. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справочное издание в 4-х т. / Л. В. Гурвич, И. В. Вейц, В. А. Медведев и др. – 3-е изд., перераб. и расширен. – Т. I, кн. 1. – М.: Наука, 1978. – 496 с.
13. Демидович Б. П. Численные методы анализа / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. – М.: Наука, 1967. – 368 с.

REFERENCES

1. Belyaev N. M. Termodinamika / N. M. Belyaev. – K.: Vischa shkola, 1987. – 382 s.
2. Pavlovskiy V. A. Vvedenie v termodinamiku realnyih gazov: Monografiya FGUP «Kryilovskiy gosudarstvenniy nauchniy tsentr» / V. A. Pavlovskiy. – SPb., 2013. – 230 s.
3. Pavlovskiy V. A. Modelirovanie dinamiki zapolneniya rezervuara realnyim gazom / V. A. Pavlovskiy, A. L. Chistov. – SPb., 2013.
4. Pilatovskiy V. P. Osnovyi gidromehaniki tonkogo plasta / V.P. Pilatovskiy. – M.: Nedra, 1966. – 317 s.
5. Barrenblatt G. I. Teoriya nestatsionarnoy filtratsii zhidkosti i gaza / G. I. Barrenblatt, V. M. Entov, V. M. Ryzhik. — M.: Nedra, 1972. –288 s.
6. Kollinz R. Teheniya zhidkostey cherez poristyie materialyi / R. Kollinz. – M.: Mir, 1964. – 352 s.
7. Petryanov I. V. Voloknistyye filtruyushchie materialyi FP / I. V. Petryanov, V. I. Kozlov, P. I. Basmanov, B. I. Ogorodnikov. – M.: Himiya, 1968. – 79 s.
8. Brazaluk Iu. V. Asimptoticheskie matematicheskie modeli filtratsii gaza cherez tonkuyu stenku. Chast 1. Postanovka problemy, izotermicheskiy sluchay / Iu. V. Brazaluk, O. I. Gubin., A. V. Davydova, D. V. Yevdokymov, M. A. Stoyanovskiy, R. O. Shulha // Systemy proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki. – Tom 24. – D.: Lira, 2018. – S. 15-40.
9. Nayfe A. H. Metodyi vozmuscheniy / A. H. Nayfe. – M.: Mir, 1976. – 456 s.
10. Koul D. D. Metodyi vozmuscheniy v prikladnoy matematike / D. D. Koul. – M.: Mir, 1972. – 276 s.
11. Van-Dayk M. Metodyi vozmuscheniy v mehanike zhidkosti / M. Van-Dayk. – M: Mir, 1967. – 296 s.
12. Gurvich L. V. Termodinamicheskie svoystva individualnyih veschestv: spravochnoe izdanie v 4-h t. / L. V. Gurvich, I. V. Veyts, V. A. Medvedev i dr. – 3-e izd., pererab. i rasshiren. – T. I, kn. 1. – M.: Nauka, 1978. – 496 s.
13. Demidovich B. P. Chislennyye metodyi analiza / B. P. Demidovich, I. A. Maron, E. Z. Shuvalova. – M.: Nauka, 1967. – 368 s.

Received 17.02.2020.

Accepted 20.02.2020.

Математическое моделирование баллонных систем хранения и регулирования расхода газа

В работе рассмотрены процессы истечения газа через пористую вставку из баллона высокого давления, используемого для газоснабжения космического летательного аппарата в длительном полете. Для описания процесса фильтрации была использована

математическая модель изотермической фильтрации газа. Применение асимптотического подхода позволило свести описание процесса фильтрации к краевой задаче для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка, которую удалось решить аналитически. Показано, что в качестве управляющих параметров процесса истечения газа можно использовать температуру газа внутри баллона или давление газа на выходе пористой вставки. Результаты работы могут быть рекомендованы для использования в ракетно-космической технике и других областях, связанных с хранением сжатого газа.

Mathematical modeling of balloon systems for storage and rate control of gas

Modern techniques and technologies often require constant or controlled gas supply for their functionality. Especially difficult this problem appears in transport systems, where a gas source must be transported by the same system, for example, in aviation vehicles and space vehicles. The long-time flight usually takes place in the last case. Processes of gas outflow from high-pressure balloon using for gas-supply of space vehicle in long-time flow are considered in the work. To provide an enough small discharge, a porous insertion is applied as a rate control tool in the balloon. It is necessary to note, that mathematical models of such constructions is not developed yet, nevertheless huge amount of investigations concerning filtration flows. It is assumed that the inertial gases are used, which are enough good satisfied to ideal gas state equation. The well-known mathematical model of isothermal gas filtration is used to describe a filtration process. Taking into account slow outflow, it is managed to apply an asymptotic approach for analysis of the mentioned filtration model. Such trick is completely necessary to overcome difficulties of multiscale problem solution, arising due to smallness of filtration flow rate. As a rule, the obtained asymptotic sequence of problems can be restricted by only zero-th approximation because of the mentioned smallness of filtration flow rate and thus smallness of the constructed small parameter used in asymptotic expansion. As a result, a description of filtration process is reduced to boundary-value problem for second order ordinary differential equation. It is managed to integrate the obtained boundary-value problem in quadrature and to reduce an initial problem to quadratic equation with respect to the pressure in the balloon. It is shown, that the temperature inside the balloon and gas pressure on the porous insertion outlet can be used as control parameters for the process of gas outflow from high-pressure balloon through porous insertion. Thus a new asymptotic approach is developed for specific kind of strongly nonlinear problems. The recommendations concerning heating and cooling of the balloon are formulated. The results of the work can be recommended for using in space-missile technique and other field, connected with pressured gas storage.

Бразалук Юлия Владимировна - доцент кафедры аэрогидромеханики и энергомассопереноса, Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Губин Александр Игоревич - доцент кафедры аэрогидромеханики и энергомассопереноса, Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Давыдова Анжелика Владимировна - доцент кафедры космических информационных технологий, Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Дерий Вероника Станиславовна - аспирантка кафедри аерогідромеханики и енергомасопереноса, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара.

Евдокимов Дмитрий Васильевич - младший научный сотрудник кафедры теоретической и компьютерной механики, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара.

Малая Юлия Анатольевна - доцент кафедры компьютерных наук и инженерии программного обеспечения, Университет таможенного дела и финансов.

Бразалук Юлія Володимирівна - доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара.

Губін Олександр Ігорович - доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара.

Давидова Анжеліка Володимирівна - доцент кафедри космічних інформаційних технологій, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара.

Дерій Вероніка Станіславівна - аспірантка кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара.

Євдокимов Дмитро Васильович - молодший науковий співробітник кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки, Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара.

Мала Юлія Анатоліївна - доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення, Університет митної справи та фінансів.

Brazaluk Iuliia - associated professor of aerohydromechanics and energy and mass transfer chair, Oles Honchar Dnipro National University.

Gubin Oleksandr - associated professor of aerohydromechanics and energy and mass transfer chair, Oles Honchar Dnipro National University.

Davydova Angelika - associated professor of space information technology chair, Oles Honchar Dnipro National University.

Deriy Veronika - post-graduate student of aerohydromechanics and energy and mass transfer chair, Oles Honchar Dnipro National University.

Yevdokymov Dmytro - junior researcher of theoretical and computer mechanics chair, Oles Honchar Dnipro National University.

Mala Yuliia - associated professor of computer science and software engineering chair, University of Customs and Finance.

ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В RLD ЦЕПЯХ

Аннотация. Рассмотрена модель RLD цепей в среде Multisim и показано, что независимое изменение амплитуды U и частоты ω формирует петлю гистерезиса $\max(U_d)$ для хаотических колебаний на интервале значений U и ω .

Ключевые слова: хаотическая динамика, RLD цепи, точки бифуркации

Целью работы является разработка математической модели RLD цепей и исследование влияния частоты ω и амплитуды U входного гармонического напряжения на максимальное значение напряжения U_d на полупроводниковом диоде.

Хаос - это непериодическое поведение детерминированных нелинейных динамических систем, которое чувствительно к начальным условиям. Электронные схемы являются хорошими примерами таких систем, поэтому их анализ может оказать большую помощь в понимании математики хаотической динамики и возможных применений этого явления. Одним из сценариев перехода к хаосу является удвоение периода [1].

Простая схема, которая может демонстрировать хаотическое поведение, является так называемой схемой RLD, образованная последовательным соединением резистора R , катушки индуктивности L и диода D . Схема управляется синусоидальным входным напряжением, а диод обеспечивает нелинейность системы, т.к. его емкость, связанная с значением смещения, и в сочетании с индуктивностью дает системе необходимые степени свободы для возникновения хаоса.

В случае доминирования барьерной емкости диода за счет выбора соответствующей рабочей точки, такая RLD цепь описывается уравнением

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{A}{b} q^{\frac{1}{1-\gamma}} - \frac{1}{b} = U \sin \omega t \quad (1)$$

Представленное уравнение (1) можно отнести к классу уравнений Дуффинга, отличительной особенностью которых является существование разнообразных периодических решений исследованных весьма мало, а еще в меньшей степени изучены непериодические решения [2].

Для решения поставленной задачи была использована среда моделирования Multisim, т.к. она обеспечивает интерфейс, приближенный к реальной аппаратной среде исследования реализаций электронных схем. Кроме того, в ней представлен широкий спектр элементов электронных схем с подробными и точными характеристиками. Схема исследования RLD цепи представлена на рис.1.

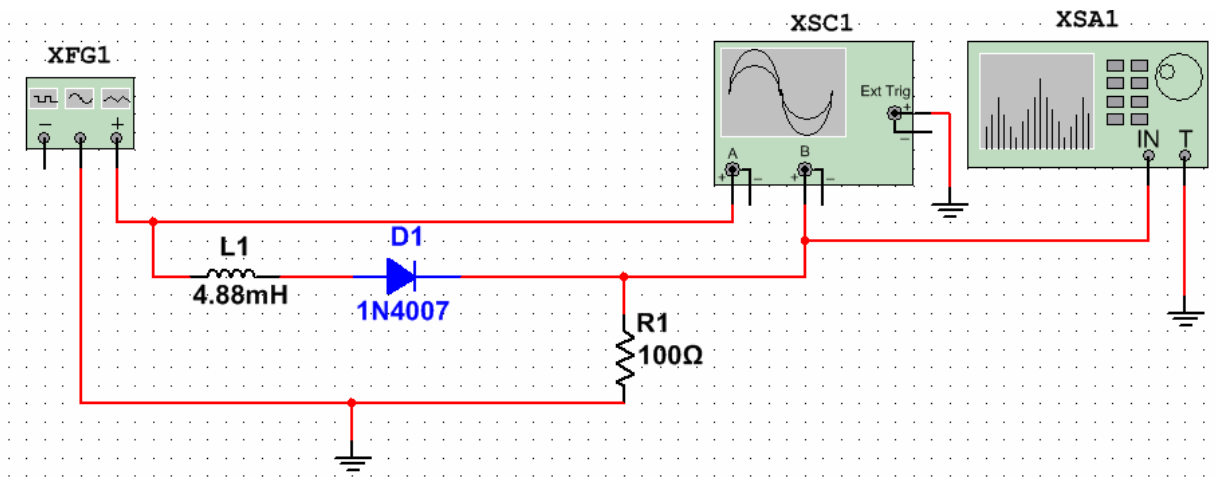


Рисунок 1 - Моделирование RLD цепи в Multisim

Исследование модели RLD цепи в Multisim проводилось в два этапа.

На первом этапе (рис.2-3) исследовалось влияние амплитуды при ее увеличении и уменьшении U входного сигнала на $\max(U_d)$.

Переход к хаотическому режиму в RLD цепи при увеличении амплитуды входного гармонического сигнала U с неизменной частотой $\omega=450$ кГц сопровождается увеличением количества непересекающихся петель фазового портрета и наполнением спектрального диапазона 0-2 ω новыми спектральными компонентами. В результате фазовый портрет

приобретает вид странного аттрактора, а спектр - становится непрерывным, что служит признаком хаоса (рис.2).

Последовательное увеличение, а затем уменьшение амплитуды U гармонических колебаний показало наличие петли гистерезиса на интервале 350-400 мВ. Этот интервал характеризуется возникновением хаотических колебаний.

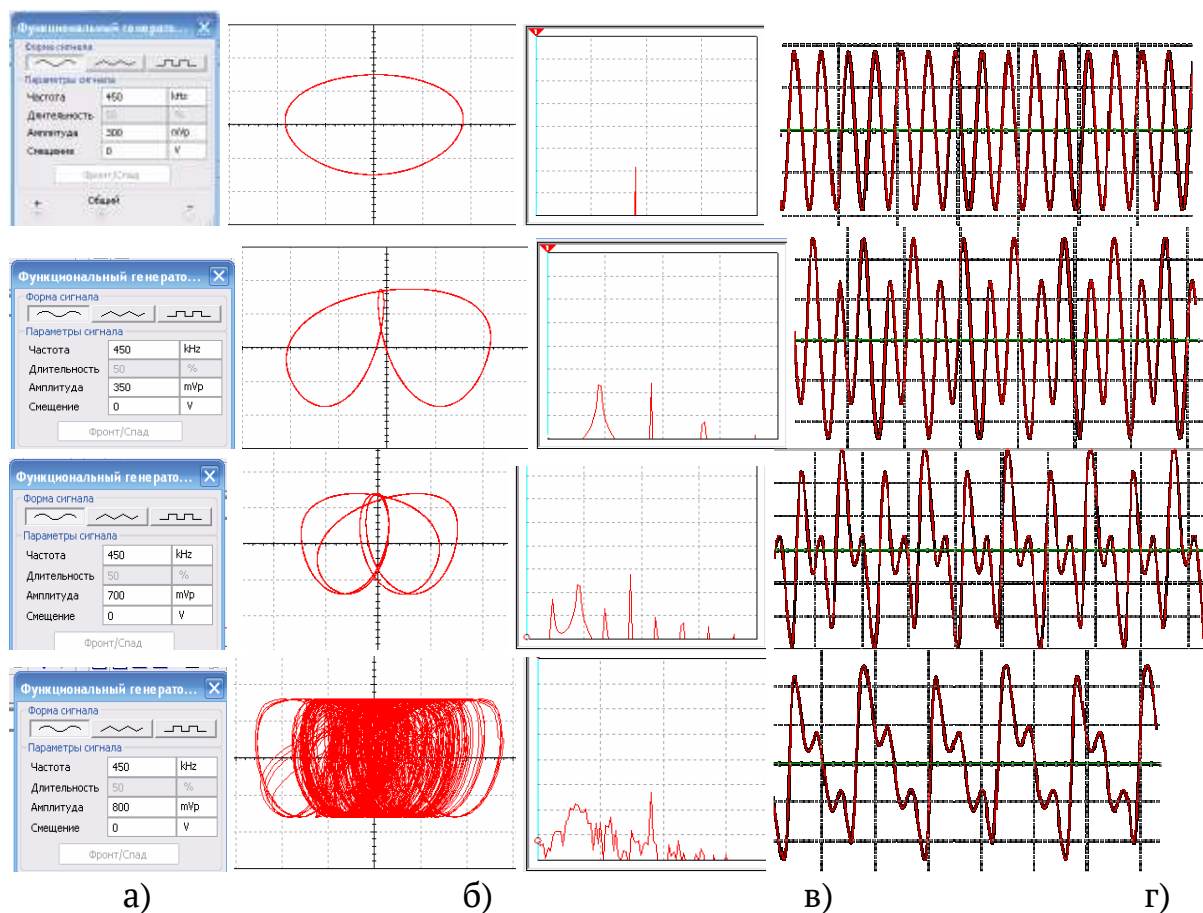


Рисунок 2 - Переход к хаотическому режиму в RLD цепи

а) характеристики входного сигнала, б) фазовый портрет, в) спектр напряжения на сопротивлении R, г) напряжение $\max(U_d)$

На втором этапе (рис. 4-6) исследовалось влияние частоты ω входного гармонического напряжения при ее увеличении и уменьшении на $\max(U_d)$ на полупроводниковом диоде.

Последовательное увеличение, а затем уменьшение частоты ω гармонических колебаний при неизменной амплитуде U показало наличие петли гистерезиса на интервале 40-45 кГц. Этот интервал характеризуется возникновением хаотических колебаний.

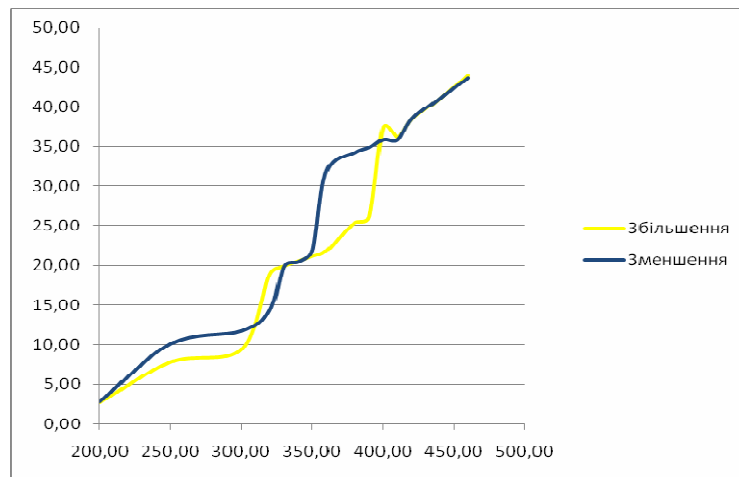


Рисунок 3 - Зависимость $\max(U_d)$ от амплитуды U гармонических колебаний при неизменной частоте $\omega=450\text{кГц}$

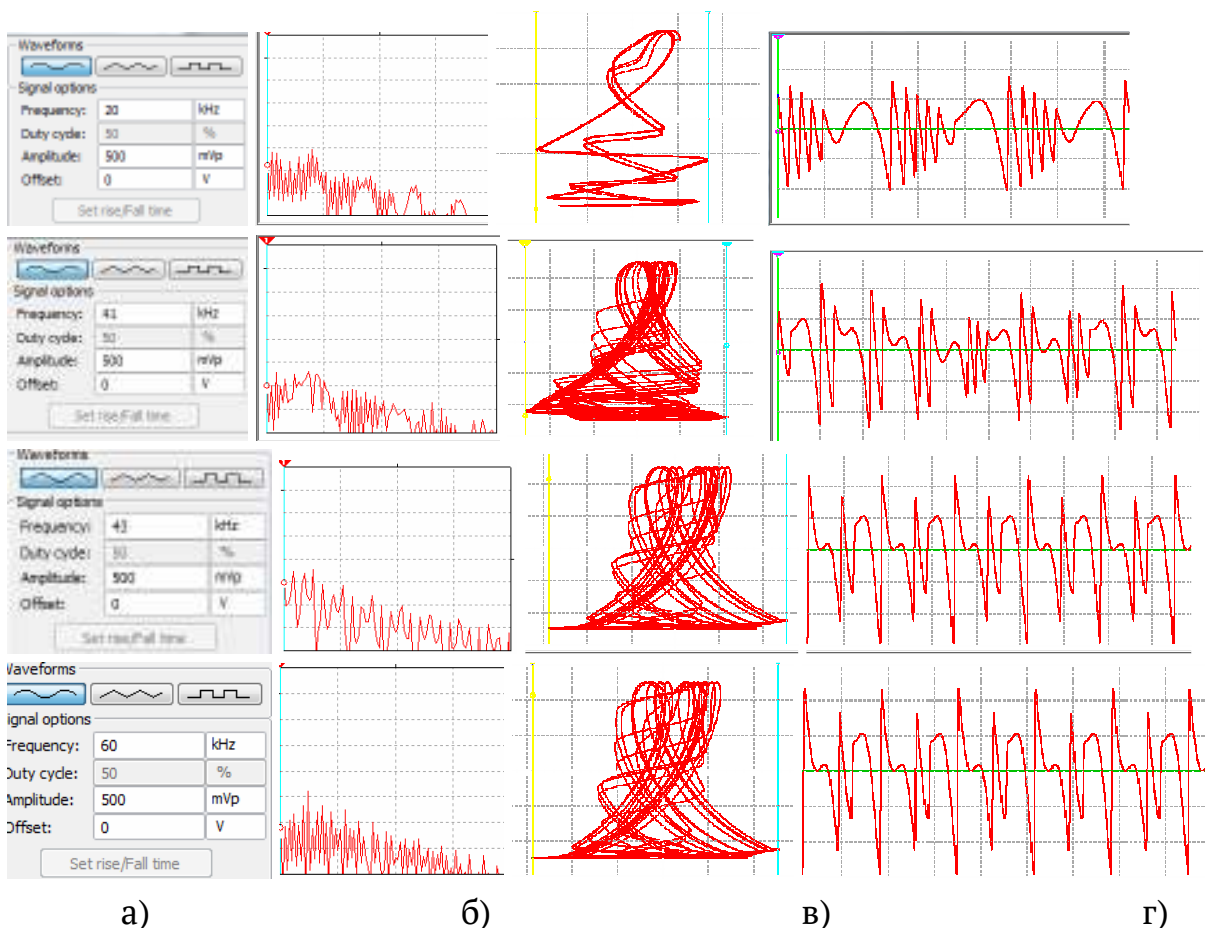


Рисунок 4 - Переход к хаотическому режиму в RLD цепи при увеличении частоты ω входного гармонического сигнала

а) характеристики входного сигнала, б) фазовый портрет, в) спектр на-
пряжения на сопротивлении R, г) напряжение $\max(U_d)$

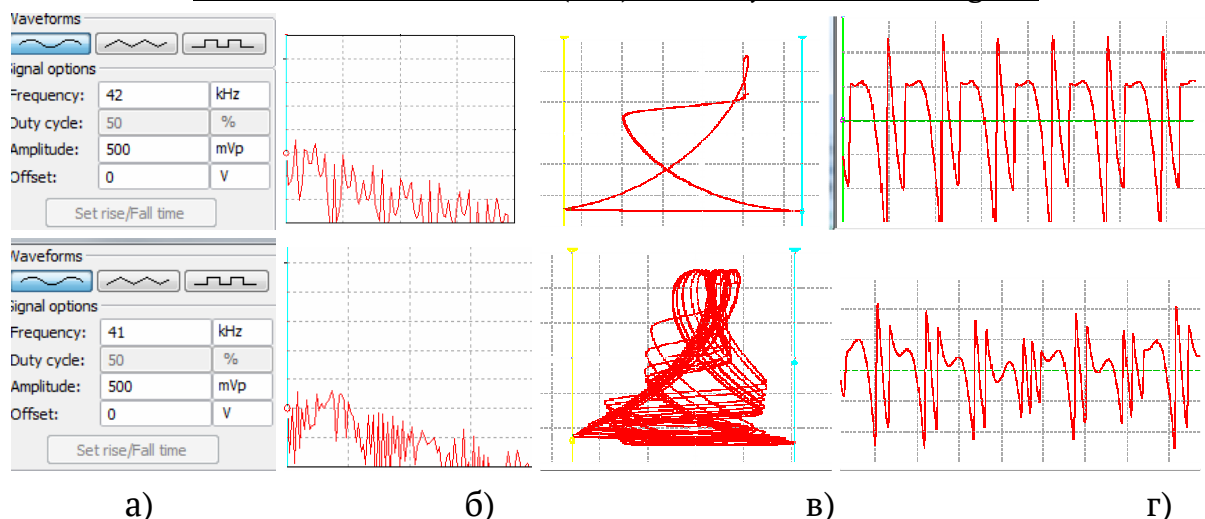


Рисунок 5 - Переход к хаотическому режиму в RLD цепи при уменьшении частоты ω входного гармонического сигнала

а) характеристики входного сигнала, б) фазовый портрет, в) спектр напряжения на сопротивлении R, г) напряжение $\max(U_d)$

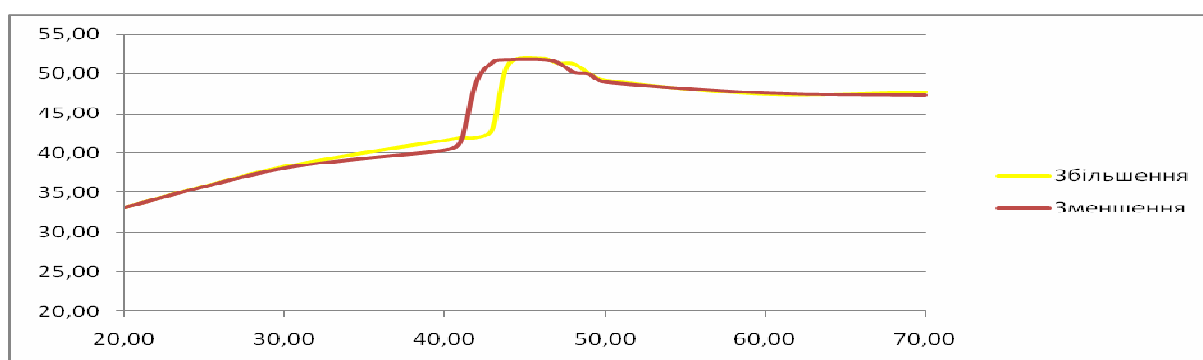


Рисунок 6 - Зависимость $\max(U_d)$ от частоты ω гармонических колебаний при неизменной амплитуде U

Таким образом, возникновение хаотических колебаний может быть обусловлено как изменениями амплитуды, так и частоты входного гармонического сигнала. Поэтому важной практической задачей является прогнозирование точек бифуркации петли гистерезиса (рис.3 и рис.6).

Выводы. Проведенные исследования дали возможность:

- во-первых, оценить зависимость $\max(U_d)$ от частоты ω и амплитуды U гармонических колебаний;

- во-вторых, получить на основе рассмотренной компьютерной модели возможность прогнозирования точек бифуркации петли гистерезиса для реальных элементов электронных схем.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Haniyas M.P., Giannarias G., Spyridokis A., Rigas A. Time series analysis in chaotic diode resonator circuit. *Chaos, Solitons and Fractals*, 27, 2006, 569-573p.
2. Стокер Дж. Нелинейные колебания в механических и электрических системах. Иностранная литература, М. 1953. С.253.

REFERENCES

1. Haniyas M.P., Giannarias G., Spyridokis A., Rigas A. Time series analysis in chaotic diode resonator circuit. *Chaos, Solitons and Fractals*, 27, 2006, 569-573p.
2. Stoker J.J. *Nonlinear vibrations in mechanical and electrical systems*. New York, 1950, P.250.

Received 17.02.2020.

Accepted 21.02.2020.

Хаотичні коливання у RLD ланцюгах

Розглянута модель RLD ланцюгів у середовищі Multisim та показано, що незалежна зміна амплітуди U та частоти w формує петлю гістерезису $\max(U_d)$ для хаотичних коливань на інтервалі значень U та w . На основі розглянутої комп'ютерної моделі отримана можливість прогнозувати точки біфуркації петлі гістерезису для визначення критичних режимів елементів електронних схем.

Chaotic oscillations in RLD circuits

The aim of the work is to develop a mathematical model of the RLD circuit and to study the influence of the frequency w and amplitude U of the input harmonic voltage on the maximum value of voltage U_d on the semiconductor diode. To solve this problem, we used the Multisim modeling environment.

If the barrier capacitance of the diode dominates due to the choice of the corresponding operating point, such an RLD circuit is described by non-linear differential equation of Duffing class.

In the first step studies but the effect of the amplitude U when it is an increase and decrease in the input signal $\max(U_d)$. A sequential increase and then a decrease in the amplitude U of harmonic oscillations showed the presence of a hysteresis loop in the range of U values. This interval is characterized by the occurrence of chaotic oscillations.

In the second step studies but the influence of frequency w input harmonic voltage when it increases and decreases at $\max(U_d)$. A sequential increase and then a decrease in the frequency w of harmonic oscillations at a constant amplitude U showed the presence of a hysteresis loop in the range of values of w . This interval is characterized by the occurrence of chaotic oscillations.

Thus, the occurrence of chaotic oscillations can be caused by both changes in the amplitude and frequency of the input harmonic signal.

Based on the computer model considered, it was possible to predict the bifurcation points of the hysteresis loop to determine the critical modes of real elements of electronic circuits.

Дерев'янку Александр Иванович – к.т.н., профессор, Национальная металлургическая академия Украин.

Дерев'янку Олександр Іванович – к.т.н., професор, Національна металургійна академія України.

Derevyanko Alexandr - prof., National metallurgical academy of Ukrain.

С.М. Форись, С.С. Федоров, В.Я. Перерва, А.Ю. Усенко

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ РЕЖИМІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШАХТНОЇ ВАПНЯНО-ВИПАЛЮВАЛЬНОЇ ПЕЧІ

Анотація. Розроблено та реалізовано на ЕОМ математичну модель шахтної протитокової вапняно-випалювальної печі з центральним та периферійним підведенням природного газу. В моделі враховані рух газів у щільному шарі кускового матеріалу, конвективне та дифузійне перенесення речовини, горіння палива, зовнішній та внутрішній теплообмін. Розроблено енергоефективні режими роботи шахтної протитокової вапняно-випалювальної печі, що забезпечують зниження питомої витрати природного газу на 20 ч 25 % при заданих значеннях якості готового продукту та продуктивності агрегату. Розроблено режими опалення шахтної протитокової вапняно-випалювальної печі сумішшю природного та доменного газів. Очікувана економія природного газу при цьому становить близько 30 %.

Ключові слова: вапно, шахтна піч, паливо, теплові режими, математична модель, щільний шар.

Постановка проблеми. На фоні зростання вартості природного газу на внутрішньому ринку України, важливим є його ефективне використання в найбільш енергоємних галузях промисловості. Одними з великих споживачів природного газу є шахтні протитокові вапняно-випалювальні печі, в яких виробляють близько 30 % вапна.

Основними недоліками їхньої роботи є значний хімічний недопал палива і нерівномірність випалу вапняку, які, у свою чергу, обумовлені незадовільним перемішуванням палива з окислювачем у щільному шарі кускового матеріалу. У результаті, фактичні показники питомої витрати природного газу на тонну вапна перевищують проектні на 20 ÷ 35 %. Таким чином, зниження споживання природного газу в цих агрегатах має велике практичне та економічне значення. Вирішення цієї задачі можливе за рахунок розробки та впровадження ефективних газодинамічних та теплових режимів роботи випалювальних печей.

© Форись С.М., Федоров С.С., Перерва В.Я., Усенко А.Ю., 2020

Для підприємств металургійної галузі перспективним є часткова заміна природного газу більш дешевими видами палива. Зокрема, переведення печей на комбіноване опалення природно-доменною сумішшю, що потребує розробки відповідних режимів та технічних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження роботи таких печей з метою їх удосконалювання ведуться науковими колективами (УДТУ-УПІ, НМетАУ) та закордонними компаніями «Merz» і «Polysius» [1-5]. Аналіз літературних джерел показав, що результати комплексних досліджень теплової роботи шахтних вапняно-випалювальних печей представлені малою кількістю робіт [2 - 5]. Основною причиною є складність теплофізичних процесів, що відбуваються у печах, вивчення яких вимагає проведення масштабних і витратних наукових експериментів.

Аналіз результатів досліджень робіт [1 - 6] та даних технічної експлуатації шахтних печей з центральним та периферійним підведенням палива показав, що основними недоліками цих агрегатів є високий хімічний недопал палива та нерівномірність випалу вапняку, які обумовлені незадовільним перемішуванням палива з окислювачем у шарі кускового матеріалу.

Перспективними заходами щодо підвищення ефективності використання природного газу в шахтних вапняно-випалювальних печах є розробка оптимальних режимів випалу, технічних рішень щодо комбінованого опалення природно-доменною сумішшю.

Мета та результати досліджень. Метою даної роботи є дослідження впливу режимних параметрів шахтної вапняно-випалювальної печі на основні показники її роботи. Ефективне рішення поставлених задач можливе в сполученні з математичним моделюванням роботи випалювальних агрегатів. Для досліджень була розроблена математична модель шахтної протитокової вапняно-випалювальної печі. Тестування її структурних частин було виконано по відношенню до відомих в літературі аналітичних рішень, розрахункових та експериментальних даних [7].

У зв'язку зі складністю теплообмінних та газодинамічних процесів система рівнянь, що описують роботу печі, була розділена на ряд

окремих сполучених задач. У загальній математичній постановці враховані задачі руху газів у щільному шарі, конвективного та дифузійного переносу речовини, горіння палива, зовнішнього і внутрішнього теплообміну.

Відповідно до конструктивних особливостей шахтних печей [1-3] для випалу вапняку прийнято, що профіль робочого простору має циліндричну форму. У моделі враховані підведення газів у пальники та основу печі, а також теплові втрати через теплову ізоляцію. Вважалося, що піч працює в сталому стані.

Постановка задачі руху газу в щільному шарі кускового матеріалу представлена диференціальним рівнянням потенційного руху в циліндричній системі координат:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi(r, h)}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi(r, h)}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \varphi(r, h)}{\partial h^2} = \frac{\Delta V_{\text{ист}}^*(r, h)}{dV}, \quad (1)$$

де $\varphi(r, h)$ – потенціал швидкості, $\text{м}^2/\text{с}$; r – поточний радіус печі, м ; h – поточна висота печі, м ; $\Delta V_{\text{ист}}^*(r, h)$ – локальна зміна об'ємної витрати газу в елементарному об'ємі в результаті хімічних реакцій горіння палива та дисоціації вапняку, $\text{м}^3/\text{с}$; $dV = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \cdot dh$ – елементарний об'єм печі, м^3 .

Математичне формулювання задачі переносу речовини з урахуванням джерел маси записане у вигляді диференціального рівняння (2), що визначає розподіл концентрацій речовини в нестисливому потоці:

$$\bar{w}_r(r, h) \cdot \frac{\partial C(r, h)}{\partial r} + \bar{w}_h(r, h) \cdot \frac{\partial C(r, h)}{\partial h} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot D_r(r, h) \cdot \frac{\partial C(r, h)}{\partial r} \right) + G_c(r, h), \text{ с}^{-1} \quad (2)$$

де $\bar{w}_r(r, h)$ і $\bar{w}_h(r, h)$ – відповідно радіальна та вертикальна складові вектору швидкості фільтрації, $\text{нм}/\text{с}$; $C(r, h)$ – концентрація речовини, що дифундує в шарі, $\text{кг}/\text{кг}$; $D_r(r, h)$ – коефіцієнт радіальної турбулентної дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$; $G_c(r, h)$ – інтенсивність виділення (поглинання) речовини в одиниці об'єму шару внаслідок хімічних реакцій горіння палива та дисоціації вапняку, с^{-1} .

Кількість рівнянь виду (2) визначалася числом компонентів, що розглянуті у системі. Для умов роботи шахтних вапняно-випалювальних печей на газоподібному паливі були враховані дванадцять основних компонентів: метан CH_4 , етан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} , пентан

C₅H₁₂, етилен C₂H₄, оксид вуглецю CO, водень H₂, диоксид вуглецю CO₂, водяна пара H₂O, кисень O₂ та азот N₂.

При постановці задачі горіння палива в щільному шарі були враховані відомі в літературі реакції неповного згоряння та водяного газу [6].

Постановка задачі зовнішнього теплообміну в шарі представлена рівнянням (3) [7]:

$$c_r(t_r) \cdot \left[\bar{w}_h(r, h) \cdot \frac{\partial t_r(r, h)}{\partial h} + \bar{w}_r(r, h) \cdot \frac{\partial t_r(r, h)}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot D_r(r, h) \cdot \frac{\partial t_r(r, h)}{\partial r} \right) \right] = q_v(r, h), \text{ Вт/м}^3, \quad (3)$$

де $c_r(t_r)$ – ізобарна об'ємна теплоємність теплоносія, Дж/(м³·К); $t_r(r, h)$ – температура газів, °С; $q_v(r, h)$ – закон розподілу потужності джерел (стоків) теплоти на основі рішення завдань горіння палива і дисоціації вапняку, Вт/м³.

При моделюванні нагрівання та дисоціації куску вапняку прийнята фронтальна модель, в якій враховані залежність теплофізичних властивостей матеріалу від температури та перегрівання зовнішніх шарів вапна відносно температури дисоціації. Внутрішні процеси теплообміну при цьому описані рівняннями (4)-(6):

- рівняння теплопровідності в ядрі вапняку ($r_k \in [0; r_f]$, $r \in [0; R_n]$):

$$\rho_{\text{CaCO}_3} \cdot c_{\text{CaCO}_3}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r_k} \left(\lambda_{\text{CaCO}_3}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k} \right) + \lambda_{\text{CaCO}_3}(t_m) \cdot \frac{2}{r_k} \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k}; \quad (4)$$

- рівняння теплопровідності в прошарку вапна ($r_k \in [r_f; R_k]$, $r \in [0; R_n]$):

$$\rho_{\text{CaO}} \cdot c_{\text{CaO}}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r_k} \left(\lambda_{\text{CaO}}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k} \right) + \lambda_{\text{CaO}}(t_m) \cdot \frac{2}{r_k} \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k}, \quad (5)$$

де ρ_{CaCO_3} , ρ_{CaO} – відповідно щільності вапняку та вапна, кг/м³; $c_{\text{CaCO}_3}(t_m)$, $c_{\text{CaO}}(t_m)$ – відповідно теплоємності вапняку та вапна, Дж/(кг·К); $\lambda_{\text{CaCO}_3}(t_m)$,

$\lambda_{\text{CaO}}(t_m)$ – відповідно коефіцієнти теплопровідності вапняку та вапна, Вт/(м·К); $t_m(r_k, \tau, r)$ – температура матеріалу, що є в загальному випадку функцією радіуса куска r_k , часу τ (що визначає положення куску по висоті печі) і поточного радіуса печі r , °С; $R_{\text{п}}$ – радіус печі, м; r_k – поточний радіус, м; $r_{\text{ф}}$ – радіус, що відповідає положенню фронту дисоціації, м; τ – поточний час, с;

- рівняння балансу теплоти на границі розділу фаз CaO-CaCO₃ :

$$-\lambda_{\text{CaO}}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k} = -\lambda_{\text{CaCO}_3}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k} +$$

$$+ q_{\text{дис}} \cdot \rho_{\text{CaCO}_3} \cdot \frac{\partial r_{\text{ф}}}{\partial \tau} + \frac{\rho_{\text{CaCO}_3}}{\rho_{\text{CO}_2}} \cdot \frac{\mu_{\text{CO}_2}}{\mu_{\text{CaCO}_3}} \cdot c_{\text{CO}_2}(t_{\text{дис}}) \cdot t_{\text{дис}} \cdot \frac{\partial r_{\text{ф}}}{\partial \tau}, \quad (6)$$

де $q_{\text{дис}}$ – тепловий ефект ендотермічної реакції дисоціації вапняку, Дж/кг; $t_{\text{дис}}$ – температура дисоціації вапняку, °С; μ_{CaCO_3} , μ_{CO_2} – відповідно мольні маси вапняку та диоксиду вуглецю, кг/кмоль; $c_{\text{CO}_2}(t_{\text{дис}})$ – ізобарна об'ємна теплоємність диоксиду вуглецю при температурі дисоціації, Дж/(м³·К).

Система кінцевих та диференціальних рівнянь (1)-(6) була доповнена граничними умовами. Її апроксимація виконана інтегро-інтерполяційним методом, а отримані в підсумку кінцево-різницеві рівняння реалізовані на ЕОМ. Розроблений програмний алгоритм рішення задачі передбачав послідовне обчислення кожного з розрахункових блоків (газодинаміки, масообміну, горіння, зовнішнього та внутрішнього теплообміну) окремо з наступними та багаторазовими ітераціями.

У результаті, це забезпечувало сполученість рішення. Критерієм збіжності й завершеності обчислень виступала похибка матеріального та теплового балансів печі. Задача вважалася вирішеною по досягненні значення її модулю <0,5 %.

Досліджено вплив режимних параметрів на показники роботи шахтної вапняно-випалювальної печі: структуру видаткових статей теплового балансу й ступінь випалу вапняку. В якості режимних параметрів розглянуто: витрата повітря, витрата рециркулята на центральний паль-

ник, витрата природного газу на піч, витрата вапняку, середній діаметр кусків вапняку [8-9].

На основі розрахунково-теоретичних досліджень встановлено, що на роботу печі впливають всі перераховані параметри керування. При цьому, основні зміни відбуваються у видаткових статтях теплового балансу: корисно використана теплота, що пішла на дисоціацію вапняку, втрати теплоти з хімічною неповнотою згоряння палива, втрати з фізичною теплотою газів, що йдуть.

Встановлені в ході досліджень зв'язки між режимними параметрами та показниками роботи будуть використані надалі для оптимізації режимів шахтних вапняно-випалювальних печей.

Для рішення задачі оптимізації була отримана регресійна енергетична характеристика печі, що виражає зв'язок витрати палива $B_{\text{пг}}$ із основними режимними параметрами роботи агрегату (витратою палива $B_{\text{пг}}^{\text{ц}}$, повітря $V_{\text{п}}^{\text{ц}}$ і рециркуляту $V_{\text{р}}$ на центральний пальник, витратою повітря в основу печі $V_{\text{п}}$) і заданими технологічними показниками (добовим завантаженням печі вапняком G і ступенем випалу матеріалу σ):

$$\begin{aligned} B_{\text{пг}} = & -4442 - 0,781 \cdot B_{\text{пг}}^{\text{ц}} + 0,344 \cdot V_{\text{п}} + 13,1 \cdot G + 5095,54 \cdot \sigma - 0,06 \cdot V_{\text{п}}^{\text{ц}} + \\ & + 10^{-3} \cdot B_{\text{пг}}^{\text{ц}^2} + 3 \cdot 10^{-5} \cdot V_{\text{р}}^2 - 6,15 \cdot 10^{-4} \cdot G \cdot V_{\text{п}} + 5,752 \cdot G \cdot \sigma - \\ & - 1,44 \cdot 10^{-4} \cdot B_{\text{пг}}^{\text{ц}} \cdot V_{\text{р}} - 0,463 \cdot V_{\text{п}} \cdot \sigma + 1,94 \cdot 10^{-5} \cdot (V_{\text{п}} \cdot \sigma)^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Коефіцієнт детермінації R^2 рівняння (7) склав 0,95. Значимість коефіцієнтів пропорційності була перевірена на основі відомих статистичних оцінок.

Отримана енергетична характеристика використана в якості оптимізаційної моделі, а як критерій оптимальності прийнята витрата природного газу $B_{\text{пг}}$. Рішення задачі оптимізації виконано методом Ньютона.

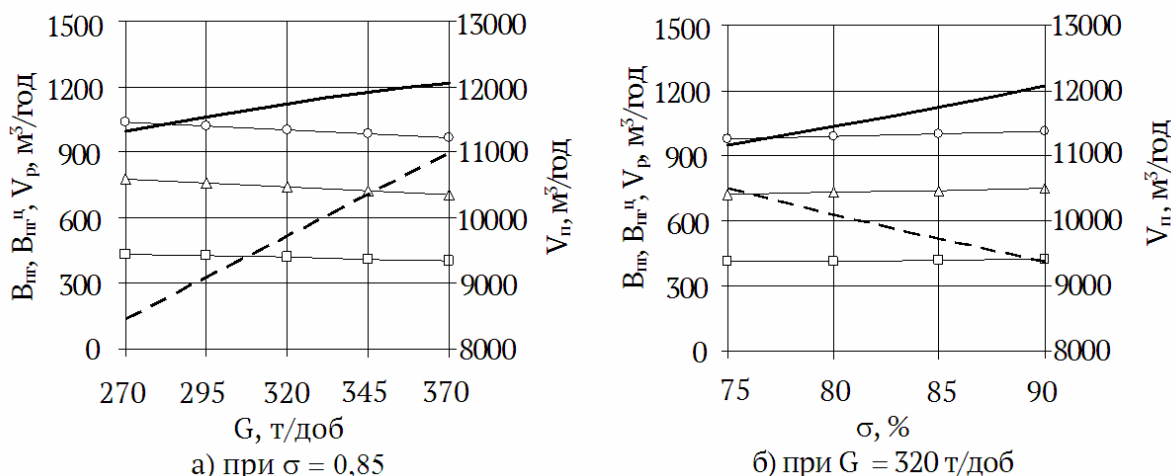


Рисунок 1 - Залежність оптимальних режимних параметрів роботи печі від завантаження вапняком та ступеню випалу матеріалу

- витрата природного газу на піч $B_{\text{пг}}$
- витрата повітря в основу печі $V_{\text{п}}$
- \square витрата природного газу на центральний пальник $B_{\text{пг}}^{\text{ц}}$
- \triangle витрата рециркуляту на центральний пальник $V_{\text{п}}$
- \circ витрата повітря на центральний пальник $V_{\text{п}}^{\text{ц}}$

Деякі з отриманих результатів представлені на рис. 1-2.

З наведених даних виходить, що для печі цеху випалу вапняку у першу чергу необхідна організація оптимального режиму роботи центрального пальника. У дослідженому діапазоні $G = 270 \div 370$ т/доб і $\sigma = 75 \div 90$ % рекомендовані витрати газів на центральний пальник становлять: $B_{\text{пг}}^{\text{ц}} = 410 \div 430$ м³/год; $V_{\text{п}} = 730 \div 780$ м³/год; $V_{\text{п}}^{\text{ц}} = 980 \div 1040$ м³/год (рис. 1-2).

Надалі, для забезпечення необхідної якості вапна σ залежно від завантаження печі G варто керувати витратами палива на периферійні пальники та повітря в основу печі.

Як видно з рис. 1, з ростом продуктивності печі при заданій якості вапна витрати палива і повітря на піч збільшуються. У той же час при збільшенні ступеня випалу, навпроти необхідно знижувати подачу повітря в основу печі при підвищенні витрати палива.

На рис. 2 показана зміна питомої витрати умовного палива на тонну активного вапна в оптимальних режимах роботи печі.

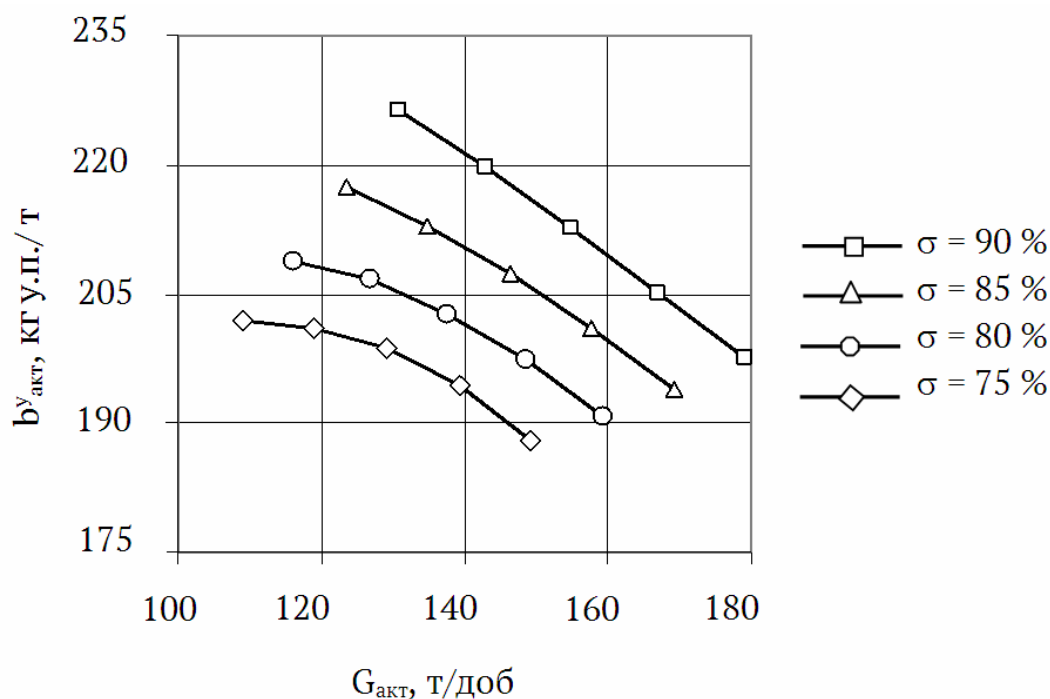


Рисунок 2 - Залежність питомої витрати умовного палива від продуктивності печі за активним вапном при оптимальних режимах роботи

Згідно із представленими даними, питома витрата палива на тону активного вапна тим менше, чим вище продуктивність печі і нижче вимоги до якості готового продукту

З аналізу отриманих результатів встановлено, що впровадження оптимального режиму забезпечить зниження питомої витрати палива на 20 ÷ 25 %.

При дослідженні впливу доменного газу на роботу вапняно-випалю-вальної печі як технологічне обмеження по витраті доменного газу розглядалася пропускна здатність існуючих пальникових пристроїв. Відповідно до виконаних оцінок максимальна об'ємна частка доменного газу в природно-доменній суміші становить близько $r_{\text{дг}} = 0,8$. При цьому, теплота згоряння такої суміші дорівнює 9,4 МДж/м³.

Відповідно до результатів досліджень збільшення витрати доменного газу на центральний пальник призводить до деякого погіршення роботи агрегату, що виражається в зниженні ступеня випалу вапняку. Подача доменного газу на периферійні пальники навпроти підвищує якість вапна. У підсумку, при переведенні печі на опалення природно-

доменною сумішшю в діапазоні значень теплоти згорання $9,4 \div 33,5$ МДж/м³ її основні інтегральні показники роботи (структура теплового балансу печі, а також якість випалу) практично не змінюються.

Даний висновок пояснюється, насамперед, тим, що шахтна піч не має розвиненого об'єму робочого простору як нагрівальні печі та котельні агрегати. У щільному шарі основне перенесення теплоти від газів до поверхні матеріалу здійснюється конвекцією. Тому при заміні природного газу низькокалорійним паливом ефект зниження температури продуктів згорання і падіння променистої складової тепловіддачі компенсується підвищенням швидкості газів та відповідним збільшенням коефіцієнту тепловіддачі конвекцією. Очікувана економія природного газу при переході на природно-доменну суміш із теплотою згорання $9,4$ МДж/м³ становить близько 30 %.

Висновки. За результатами параметричного дослідження вапняно-випалювальної печі встановлено, що розподіл палива між пальниками, витрата повітря в основу печі, витрата первинного повітря і рециркуляту в центральний пальник, завантаження печі вапняком та діаметр кусків вапняку нелінійно впливають на видаткові статті теплового балансу печі та повинні враховуватися при розробці режимів роботи агрегату. При перерозподілі палива між пальниками та зміні витрати повітря в основу печі існують оптимальні режими, яким відповідає максимум корисно використаної теплоти. На основі узагальнення результатів досліджень отримано енергетичну характеристику шахтної протитокової вапняно-випалювальної печі, що визначає зв'язок витрати природного газу з розподілом палива, повітря і рециркуляту між центральною та периферійними пальниками в залежності від завантаження печі вапняком та якості вапна.

На основі розрахункових досліджень розроблено пропозиції щодо переведення печі випалу вапняку на опалення природно-доменною сумішшю з теплотою згорання $9,4$ МДж/м³. Очікувана економія природного газу при цьому становить близько 30 %.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Федоров О. Г. Расчет газораспределения в плотном продуваемом слое при обжиге известняка в шахтных печах / О. Г. Федоров, В. Р. Журавский, Д. П. Нелюбина // Тезисы докладов республиканской конференции «Вопросы совершенствования тепловой работы и конструкций металлургических печей». – Днепропетровск. – 1981. – С. 9 – 10.
2. Мадисон В.В. Проблемы и пути повышения эффективности сжигания топлива в шахтных известковоробжиговых печах / Рязанов В.Т., Гордон Я.М. // Металлургическая теплотехника. – Днепропетровск: НМетАУ. – 2002. – Т.6. – С. 89 – 99.
3. Ляшенко Ю.П. Разработка и внедрение эффективных газодинамических и тепловых режимов шахтных печей для обжига известняка: Автореф. дис... канд.техн.наук: 05.14.04. – Днепропетровск, 1985, – 22 с.
4. Розенгарт Ю.И., Движение газов в шахтных известково-обжиговых печах / Федоров О.Г., Ляшенко Ю.П. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1990. – №6. – С.79-81.
5. Гордон Я. М. Механика движения материала и газов в шахтных печах / Я. М. Гордон., Е. В. Максимов, В. С. Швыдкий. – Алма-Ата, 1989. – 144 с.
6. Лисиенко В.Г., Щелков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: Справочное издание: В 3-х книгах. Книга 2/ Лисиенко В.Г., Щелков Я.М., Ладыгичев М.Г. – М.: Теплотехник, 2004. – 832 с.
7. Форись С. М. Математическое моделирование шахтных известково-обжиговых печей / С. М. Форись, С. С. Федоров, М. В. Губинский // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2008. – Т.2. – С. 98 – 104.
8. Форись С.Н. Разработка и реализация рациональных режимов работы шахтных известково-обжиговых печей / Форись С.Н., Федоров С.С., Федоров О.Г. // Металургійна теплотехніка. Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: «ПП Грек О.С.», 2007. – С.278-287.
9. Форись С. М. Результати дослідження теплової роботи шахтної вапняно-випалювальної печі на природному газі / С. М. Форись, С. С. Федоров, О. Г. Федоров // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: «Нова ідеологія», 2008. – С. 297 – 306.

REFERENCES

1. Fedorov O.G. Raschet gazoraspredeleniya v plotnom proizvodimom sloye pri obzhige v shakhtnykh pechakh / O. G. Fedorov, V. R. Zhuravskiy, D. P. Nelyubina // Tezisy dokladov respublikanskoy konferentsii «Voprosy sovershenstvovaniya teplovoy raboty i konstruktsiy metallurgicheskikh pechey». - Dnepropetrovsk. - 1981. - S. 9 – 10
2. Madison V.V. Problemy i puti povysheniya effektivnosti szhiganiya topliva v shakhtnykh izvestkovorbzhigovykh pechakh / Ryazanov V.T., Gordon YA.M. // Metallurgicheskaya teplotekhnika. - Dneyepetrovsk: NMetAU. - 2002. - T.6. - S. 89 - 99.
3. Lyashenko Yu.P. Razrabotka i vnedreniye effektivnykh gazodinamicheskikh i teplovykh rezhimov shakhtnykh pechey dlya obzhiga izvestnyaka: Avtoref. dis... kand.tekhn.nauk: 05.14.04. - Dnepropetrovsk, 1985, - 22 s.
4. Rozengart YU.I., Dvizheniye gazov v shakhtnykh izvestkovo-obzhigovykh pechakh / Fedorov O.G., Lyashenko YU.P. i dr. // Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya. - 1990. - №6. - S.79-81.
5. Gordon YA. M. Mekhanika dvizheniya materiala i gaza v shakhtnykh pechakh M. Gordon., Ye. V. Maksimov, V. S. Shvydkiy. -Alma-Ata,1989.-144 s.
6. Lisiyenko V.G., Shchelkov YA.M., Ladygichev M.G. Toplivo. Spravochnoye izdaniye: V 3-kh knigakh. Kniga 2 Lisiyenko V.G., Shchelkov YA.M., Ladygichev M.G. - M.: Teplotekhnika, 2004. - 832 s.
7. Foris' S. M. Matematicheskoye modelirovaniye shakhtnykh izvestkovo-obzhigovykh pechey / S. M. Foris', S. S. Fedorov, M. V. Gubinskiy // Sistemní technologíí. Regionalíy mízhvuzívs'kiy zbírník náukovíkh práts'. - 2008. - T.2. - S. 98 – 104
8. Foris' S.N. Razrabotka i realizatsiya ratsional'nykh rezhimov ra-boty shakhtnykh izvestkovo-obzhigovykh pechey / Foris' S.N., Fedorov S.S., Fedorov O.G. // Metalurgíyna teplotekhníka. Nauchno-issledovatel'skiy institut natsional'noy metallurgii Ukrainy. - Dnepropetrovs'k: «PP Grek O.S.», 2007. - S.278-287.
9. Foris' S.M. Rezul'tatom dosrochnoy razrabotki teplovykh robotov i shakhtnykh vap-nyano-vipalyuval'nykh pechakh na prirodnom gaze / S. M. Foris', S. S. Fedorov, O. G. Fedorov // Metallurgicheskaya teplotekhnika: nauchnaya nauka o natsional'noy metallurgii Ukrainy. - Dnepropetrovsk: «Nova ideologiya», 2008. - S. 297 - 306.

Received 21.02.2020.
Accepted 125.02.2020.

Моделирование рабочих режимов с целью повышения эффективности шахтной известково-обжиговой печи

Разработана и реализована на ЭВМ математическая модель шахтной противоточной известково-обжиговой печи с центральным и периферийным подводом природного газа. В модели учтены движение газов в плотном слое кускового материала, конвективный и диффузионный перенос вещества, горение топлива, внешний и внутренний теплообмен.

Разработаны энергоэффективные режимы работы шахтной противоточной известково-обжиговой печи, обеспечивающие снижение удельного расхода природного газа на 20 ч 25 % при заданных значениях качества готового продукта и производительности агрегата. Разработаны режимы отопления шахтной противоточной известково-обжиговой печи смесью природного и доменного газов. Ожидаемая экономия природного газа при этом составляет около 30 %.

Simulation operating modes for enhancing the efficiency of a shaft limestone kiln

Analysis of performance by various shaft lime stone kilns with distributed central and peripheral gas fuel supply, applied in metallurgical industry, shows that the major disadvantages of these units are caused by poor gas mixing conditions and incomplete burning of fuel. To avoid over burning the lime due to the high heat capacity of natural gas, primary fuel for these furnace, the mixing and combustion must occur directly in the moving packed bed of material. That results in low quality of end product.

However, the way this problem can be partially resolved is the development and optimization of justified and efficient operating modes based on advanced technical solutions for gas fuel mixtures. To reduce fossil fuel consumption, one of the possible solutions for metallurgical plants is application of waste combustible gases like blast furnace gas combined with optimal fuel and air distribution between all levels of kiln burners.

For this purpose, the mathematical model of a shaft counter flow lime-stone kiln with central and peripheral natural gas supply was developed. The model took into account gas dynamics in the moving bed of lime-stone material, convection, fuel combustion, external and internal heat transfer.

To reduce the consumption rate of natural gas in lime stone calcining, the optimization of operating modes was conducted. as working conditions there were examined fuel, air and recycling gas distribution between central and peripheral burners.

As a result, the efficient operating conditions of the kiln were determined. In average, the reduction of natural gas consumption rate comprised 20 ч 25 % with enhanced performance of the whole unit, in terms of product quality and productivity.

According to the obtained results, switching the kiln to firing with mixtures of natural and blast furnace gases can lead to economy of natural gas by 30%.

Форись Светлана Николаевна – доц., к.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

Федоров Сергей Сергеевич – проф., д.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

Перерва Валерия Яковлевна – доц., к.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

Усенко Андрей Юрьевич – доц., к.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

Форись Світлана Миколаївна – доц., к.т.н., Національна металургійна академія України.

Федоров Сергій Сергійович – проф., д.т.н., Національна металургійна академія України.

Перерва Валерія Яківна – доц., к.т.н., Національна металургійна академія України.

Усенко Андрій Юрійович – доц., к.т.н., Національна металургійна академія України.

Foris Svitlana Mikolaivna – Associate Professor, PhD, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Fedorov Serhii Serhiovich – Professor, DSc, National Metallurgical Academy of Ukraine

Pererva Valeria Yakivna – Associate Professor, PhD, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Usenko Andrii Yuriyovich – Associate Professor, PhD, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Л.О. Кіріченко, В.А. Булах, М.Ф. Тавалбех, П.П. Зінченко
**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КЛАСИФІКАЦІЇ
ФРАКТАЛЬНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ**

Аннотація. В роботі запропоновано інформаційну технологію класифікації часових рядів, що мають фрактальні властивості, на основі методів машинного навчання. Вибір методу класифікації та відповідного набору ознак ґрунтується на мультифрактальних і самоподібних властивостях часових рядів. Як приклад, на основі запропонованої інформаційної технології проведена бінарна класифікація реалізацій нормальних та атакованих трафіків.

Ключевые слова: інформаційна технологія, класифікація часових рядів, машинне навчання, фрактальні часові ряди.

Вступ і мета. Часові ряди є основною інформацією для розуміння динаміки в складних системах різного типу. Протягом останніх двох десятиліть було запропоновано і розроблено безліч методів інтелектуального аналізу для часових рядів, в тому числі методи машинного навчання [1,2]. Машинне навчання використовуються для різних завдань аналізу часових рядів, зокрема для класифікації.

Багато складних систем мають фрактальну структуру, а їх динаміка представлена часовими рядами, які мають фрактальні (самоподібні) властивості. Аналіз фрактальних властивостей часових рядів широко використовується в різних областях знань. У багатьох випадках виникають проблеми розпізнавання і класифікації фрактальних часових рядів. В останні роки зростає інтерес до методів машинного навчання для аналізу і класифікації фрактальних рядів [3-6].

Однак досі немає єдиного підходу до класифікації часових рядів на основі їх фрактальних властивостей. Мета даної роботи - запропонувати інформаційну технологію класифікації часових рядів, які мають фрактальні властивості, на основі методів машинного навчання.

Самоподібні та мультифрактальні властивості випадкових процесів. Самоподібність випадкових процесів полягає в збереженні розподілів ймовірностей при зміні масштабу часу. Стохастичний процес $X(t)$ є самоподібним з параметром H , якщо процес $a^{-H}X(at)$ описується тими ж законами розподілів, що і $X(t)$. Параметр H , $0 < H < 1$, званий показником Херста, являє собою ступінь самоподібності процесу. Поряд з цим показник характеризує міру довгостроковій залежності. Якщо $H > 0.5$, процес $X(t)$ є персистентним, тобто трендостійким. У разі $H < 0.5$ процес має антиперсистентні властивості, а при $H = 0.5$ значення процесу є незалежними.

Мультифрактальні об'єкти є статистично неоднорідними самоподібними об'єктами та виявляють більш складну скейлінгову поведінку. У в цьому випадку скейлінговою характеристикою є нелінійна функція $h(q)$ – узагальнений показник Херста. Значення $h(q)$ при $q = 2$ збігаються зі значеннями ступеня самоподібності H . Для монофрактальних процесів узагальнений показник Херста $h(q) = H$. Діапазон значень узагальненого показника Херста $\Delta h(q) = h(q_1) - h(q_2)$ визначає ступінь мультифрактальності: чим більше значення $\Delta h(q)$, тим більше виражені мультифрактальні властивості процесу. У разі монофрактальності $\Delta h(q) = 0$. Досить зручно для визначення діапазону вибирати позитивні значення параметра $q_1 = 0.1$ і $q_2 = 5$. [7].

Задача класифікації часових рядів. Ми можемо сформулювати задачу класифікації часових рядів (ЧР) таким чином. Є множина ЧР, які розділені деяким чином на класи. Визначена скінчена множина ЧР, для яких відомо, до яких класів вони належать. Ця множина є навчальною вибіркою. Класова приналежність інших ЧР не відома. Необхідно побудувати алгоритм, здатний класифікувати довільний ЧР з вихідної множини.

У машинному навчанні існує ряд основних методів класифікації (класифікаторів): дерева прийняття рішень, машини опорних векторів, нейронні мережі та інші. Найчастіше на вхід класифікатора надходить

набір деяких ознак, притаманних даному об'єкту, у нашому випадку - ЧР. На виході ми отримаємо значення класу досліджуваного ЧР.

Одним з найважливіших питань класифікації є вибір ознак, за якими проводиться поділ на класи. Зміна фрактальних властивостей ЧР тягне за собою зміну статистичних та кореляційних властивостей. Тому в якості ознак були обрані фрактальні, статистичні та рекурентні характеристики, розраховані за значеннями ЧР.

Дослідження показали, що статистичними характеристиками, які відображають зміну фрактальних властивостей, є дисперсія, коефіцієнт варіації, медіана, коефіцієнт асиметрії та ін. Як фрактальні ознаки зручно використовувати значення показником Херста та узагальненого показника Херста.

Досить новим підходом до використання ознак ЧР в машинному навчанні є обчислення рекурентних характеристик. Рекурентна діаграма ЧР є масивом точок, де елемент з координатами (i, j) характеризує близькість точок i та j ЧР в фазовому просторі. Чисельний аналіз рекурентних діаграм дозволяє обчислювати кількісні міри складності структур рекурентних діаграм, такі як міра рекурентності, міра детермінізму, міра ентропії і ін. Ці характеристики доцільно застосовувати як ознаки в машинному навчанні.

Методи класифікації. Одним з найбільш ефективних методів для вирішення задач класифікації, що виникають в самих різних областях, вважається метод дерев рішень. Він полягає в тому, щоб здійснювати процес розподілу вихідних даних на групи, поки не будуть отримані однорідні їх підмножини. Сукупність правил, які дають таке розбиття, дозволяє потім робити висновок для нових даних. Моделі дерев рішень є нестійкими: навіть невелика зміна в навчальній множині може призвести до істотних змін у структурі дерева. У цьому випадку доцільно використовувати ансамблі моделей.

Бегінг (Bagging) - це технологія класифікації, де все елементарні класифікатори навчаються і працюють незалежно один від одного. Ідея полягає в тому, що класифікатори не виправляють помилки один одного, а компенсують їх при голосуванні. Якщо ансамбль будується на основі

моделей різних типів, то для кожного типу буде свій алгоритм навчання. Ефективність Бегінга досягається завдяки тому, що базові алгоритми, які пройшли навчання за різними підвибірками, виходять досить різними, та їхні помилки взаємно компенсуються при голосуванні. [8].

Випадковий ліс (Random Forest) також є методом Бегінга, але на відміну від його основної версії має кілька особливостей: використовує всередині себе ансамбль тільки регресійних або класифікуючих дерев рішень; в алгоритмі семплювання крім випадкового вибору навчальних об'єктів, також проводиться випадковий вибір ознак; для кожної підвибірки дерево рішень будується до повного вичерпання навчальних прикладів і не піддається процедурі відсікання гілок [9].

Нейронна мережа. У роботі [10] для проведення класифікації в якості класифікатора використовувався повнозв'язний багат шаровий перцептрон. Для запобігання ефекту перенавчання в мережу були включені шари регуляризації, по одному шару після кожного повнозв'язну шару. Як метод регуляризації був використаний метод пакетної нормалізації. Даний метод дозволяє підвищити продуктивність і стабілізувати роботу нейронних мереж. В якості методу навчання був обраний метод стохастичною оптимізації Adam (Adaptive Moment Estimation). Алгоритм оптимізації Adam є розширенням методу стохастичного градієнтного спуску з ітеративним оновленням ваг мережі на основі навчальних даних.

Інформаційна технологія класифікації фрактальних часових рядів. Порівняльний аналіз методів класифікації фрактальних часових рядів, представлений в роботах [10-15] дозволяє запропонувати інформаційну технологію класифікації, засновану на методах машинного навчання. Розглянемо її короткий опис, схематично представлених на рис. 1

1. Попередня обробка даних. Під цим пунктом розуміється досить великий спектр алгоритмів, що направлений на виявлення апіорно відомої інформації про природу ЧР, його фрактальних і статистичних властивостей [11].

2. Оцінювання самоподібних і мультифрактальних властивостей ЧР для різних класів. Даний крок є найбільш важливим для вибору методу класифікації. Методи оцінювання H і $h(q)$ досить повно описані в [7]. Ключовим моментом є визначення факту, що різні класи ЧР мають досить різні фрактальні властивості. Якщо фрактальні властивості для різних класів практично однакові, то даний підхід не має сенсу використовувати.

Аналіз самоподібних властивостей ЧР дозволяє виділити три умовних діапазону для показника Херста H : антиперсистентність при $H < 0.45$, персистентність при значеннях $H > 0.55$ і фактична відсутність довгострокової залежності $0.45 \leq H \leq 0.55$. У даному випадку, враховуючи похибки оцінювання показника Херста, ми приймаємо, що діапазон значень $[0.45, 0.55]$ відповідає дуже малой автокореляційній залежності.

Аналіз мультифрактальних властивостей ЧР, тобто оцінювання узагальненого показника Херста, дозволяє виділити три умовних діапазону $h(q)$: слабкі мультифрактальні властивості $\Delta h(q) < 0.4$, середні мультифрактальні властивості $0.4 \leq \Delta h(q) \leq 1$ і сильну мультифрактальність $\Delta h(q) > 1$. Дослідження показали, що діапазон мультифрактальних і самоподібних властивостей ЧР відіграє важливе значення для вибору класифікатора і, відповідно, точності класифікації.

3. Дослідження показали, що найбільш добре піддаються класифікації ЧР з сильними мультифрактальними властивостями. В цьому випадку і персистентні і антиперсистентні ряди найбільш точно класифікуються за допомогою випадкового лісу на основі дерев регресії (ВЛ[ДР]) [13,14]. В якості ознак достатньо використовувати статистичні (С) та фрактальні (Ф) характеристики ЧР. Якщо ЧР мають трендостійкість (показник Херста $H > 0.5$), то в якості ознак можна використовувати самі значення ЧР. Це займає набагато більш часу, але не потребує ніякого оцінювання фрактальних характеристик.

4. У разі, коли ЧР явно володіє мультифрактальними властивостями, але діапазон узагальненого показника Херста має деяке невелике значення $0.4 \leq \Delta h(q) \leq 1$, в якості ознак також можна застосовувати статистичні та фрактальні характеристики. Причому в персистентному

випадку краще працює метод Бегін з деревами регресії (Б[ДР]), а в анти-персистентному - Випадковий Ліс із деревами регресії (ВЛ[ДР]).

5. Якщо мультифрактальні властивості ЧР слабо виражені, тобто ЧР можна вважати умовно монофрактальними, то як додатні ознаки треба використовувати рекурентні (Р) характеристики [12]. Дослідження показали, що в разі монофрактальності кращі результати класифікації дає застосування нейронних мереж (НМ) [10].

Найбільш складним випадком класифікації є варіант з класифікацією ЧР, які мають слабку та середню мультифрактальність, та у яких практично відсутня автокореляційна залежність ($0.45 \leq H \leq 0.55$). У цьому випадку пропонується застосувати ансамбль (Бегінг) з декількох операторів, а саме Б{НМ, ВЛ[ДР], Б[ДР]}.

Приклад застосування інформаційної технології класифікації. Розглянемо застосування запропонованої технології на прикладі детектування DDoS -атак - хакерських атак на обчислювальну систему з метою створення таких умов, при яких користувачі системи не можуть отримати доступ до системних ресурсів. В даний час DDoS-атаки дозволяють довести до відмови практично будь-яку систему, не залишаючи юридично значимих доказів.

Одним з рішень задачі своєчасного виявлення атаки є розробка класифікатора, який би визначав ймовірність, що приходить трафік є атакою. Останні дослідження показують, що однією з характерних ознак атаки є зміна показника Херста у трафіку, що містить атакуючі файли [16].

Для проведення експериментів були взяті дані трафіків з двох наборів реальних даних [16]. З першого набору були взяті реалізації DDoS-атак, а з другого – дані трафіку реальної мережі Internet Service Provider на каналному рівні. Реалізація трафіку під дією DDoS -атаки є сумою трафіку і реалізації одного з видів атаки. В ході роботи проведені експерименти по обчисленню зміни узагальненого показника Херста під дією DDoS атак.

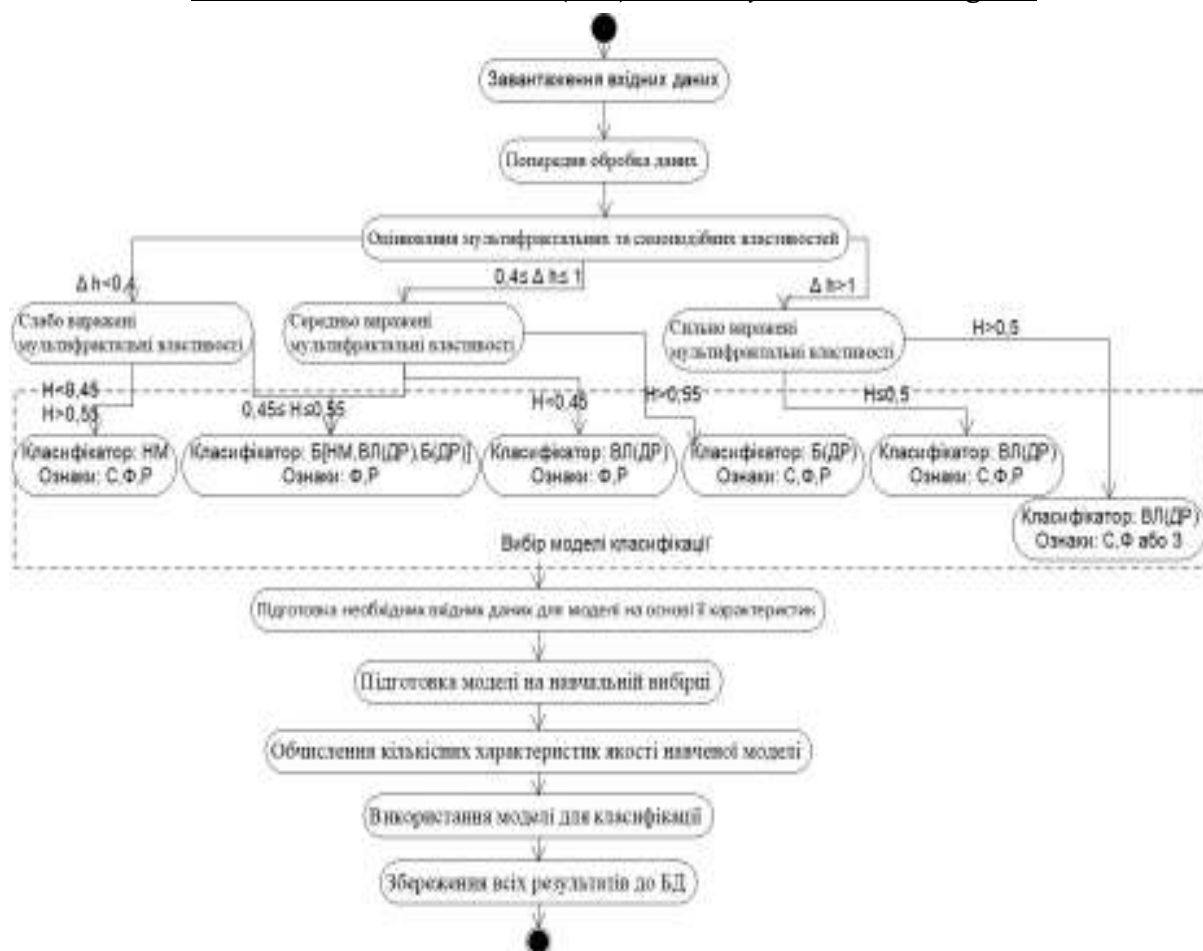


Рисунок 1 - Схема інформаційної технології класифікації часових рядів

У табл.1 представлені фрактальні властивості для різних нормальних і атакованих трафіків. Очевидно, що під дією атаки мультифрактальні властивості посилюються, а показник Херста збільшується. Це пов'язано з тим, що типові часові реалізації DDoS-атак мають великий показник Херста і сильні мультифрактальні властивості.

Таблица 1

Фрактальні властивості нормальних і атакованих трафіків

		$h(0.1)$	$h(5)$	H	$\Delta h(q)$
1.	Трафік	2.2	0.4	0.57	1.8
	Атакований трафік	2.8	0.41	0.61	2.39
2.	Трафік	1.78	0.24	0.51	1.54
	Атакований трафік	2.05	0.26	0.6	1.79
3.	Трафік	1.8	0.2	0.53	1.27
	Атакований трафік	2.5	0.3	0.64	1.86

Таким чином ми маємо бінарну класифікацію персистентних ЧР з сильно вираженими мультифрактальними властивостями. Методом класифікації був обраний Випадковий ліс на основі регресійних дерев рішень. В якості ознак були використовувані статистичні та фрактальні характеристики реалізацій трафіку. Результатом роботи моделі була ймовірність відповідності реалізації трафіку заданому класу (є атака, чи немає атаки). У табл. 2 представлені результати класифікації для трафіків з різним ступенем самоподібності і атаками, для яких показник Херста був у діапазоні [0.8,0.9].

Таблиця 2

Середні ймовірності визначення атаки

H	Ймовірність виявлення атаки	Ймовірність визначення відсутності атаки
[0.5, 0.6]	0.97	0.86
[0.6, 0.7]	0.92	0.84
[0.7, 0.8]	0.88	0.82
[0.8, 0.9]	0.76	0.75

Висновки. В роботі розглянуто інформаційну технологію, яка призначена для класифікації часових рядів, що мають фрактальні властивості, на основі методів машинного навчання. В якості методів класифікації запропоновано використовувати такі класифікатори як Бегінг, Випадковий ліс, нейронні мережі. В якості ознак обрані статистичні, фрактальні і рекурентні характеристики часових рядів. Вибір класифікатора і набору ознак ґрунтується на мультифрактальних і самоподібних властивостях досліджуваних часових рядів. Показано, що найбільша точність класифікації досягається для персистентних часових рядів з сильно вираженими мультифрактальними властивостями. Розглянуто приклад бінарної класифікації на основі запропонованої інформаційної технології.

REFERENCES

1. Esling P., Agon C.: Time series data mining, ACM Computing Surveys, v.46, №.1, (2012).
2. Krisztian Buza: Time Series Classification and its Applications WIMS '18: Proceedings of the 8th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics 2018 <https://doi.org/10.1145/3227609.3227690>
3. André L., Coelho V., Clodoaldo A., Lima M.: Assessing fractal dimension methods as feature extractors for EMG signal classification. Engineering Applications of Artificial Intelligence 36 81–98 (2014).
4. Symeonidis S.: Sentiment analysis via fractal dimension. Proceedings of the 6th Symposium on Future Directions in Information Access, 48-50 (2015).
5. S. P. Arjunan, D. K. Kumar, G. R. Naik A machine learning based method for classification of fractal features of forearm sEMG using Twin Support Vector Machines. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4821-4 (2010).
6. Ledesma-Orozco, S.E. Ruiz, García G., Aviña G., Hernández D. Analysis of self-similar data by artificial neural networks. In: Proceedings of the 2011 International Conference on Networking, Sensing and Control, Delft, pp. 480-485 (2011). doi: 10.1109/ICNSC.2011.5874873
7. Kirichenko L., Radivilova T. Estimation of multifractal characteristics of stochastic processes. International Journal Information content and processing. 2018. Vol. 5 (2). P. 106–141.
8. Breiman L. Bagging predictors. Machine Learning. (1996), 24 (2), P.123–140.
9. Breiman L. Random Forests. Machine Learning. (2001), 45 (1), P.5–32.
10. Kirichenko L., Radivilova T., Bulakh V. Binary Classification of Fractal Time Series by Machine Learning Methods. Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1020. Springer, Cham, 2018. P. 701–711. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_49.
11. Kirichenko L., Radivilova T., Bulakh V. Generalized approach to Hurst exponent estimating by time series. Informatyka Automatyka Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2018. Volume 8, No. 1. P. 28–31. doi: 10.5604/01.3001.0010.8639.

12. Kirichenko L., Radivilova T., Bulakh V. Classification of Fractal Time Series Using Recurrence Plots. Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T): Proceedings of International Science-Practical Conference, 2018, Kharkiv, Ukraine. IEEE, 2018. P. 719–724. doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632010.
13. Bulakh V., Kirichenko L., Radivilova T. Classification of Multifractal Time Series by Decision Tree Methods. ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer: Proceedings of the 14th International Conference, May 14–17 2018, Kyiv, Ukraine. 2018. 2105. P. 457–460.
14. Bulakh V., Kirichenko L., Radivilova T. Time Series Classification Based on Fractal Properties. Data Stream Mining & Processing (DSMP): 2018 IEEE Second International Conference, Lviv, Ukraine. IEEE, 2018. P. 198–201. doi: 10.1109/DSMP.2018.8478532.
15. Kirichenko L., Radivilova T., Bulakh V. Machine Learning in Classification Time Series with Fractal Properties. Data. 2019. Vol. 4, issue 1, 5. P. 1–13. doi:10.3390/data4010005 8632010.

Received 03.02.2020.

Accepted 10.02.2020.

Информационная технология классификации фрактальных временных рядов

Предложена информационная технология классификации фрактальных временных рядов на основе методов машинного обучения. Выбор метода классификации и соответствующего набора признаков основывается на мультифрактальных и самоподобных свойствах временных рядов. Используя предложенную технологию, рассмотрен пример бинарной классификации временных рядов.

Information technology of classification of fractal time series

We can formulate the task of time series classification in this way. There are many time series that are divided into classes in some way. A finite set of time series is defined for which it is known to which classes they belong. This set is a training set. Belonging to the class of other time series is not known. It is necessary to get an algorithm of classifying an arbitrary time series from the initial set.

In machine learning, there are a number of basic classification methods: decision trees, support vector machines, neural networks, and others. Most often, a set of some features of given object, in our case, time series, comes to the input of the classifier. At the output, we get the class value of the investigated time series.

One of the most important classification issues is the selection of features by which the division into classes is carried out. A change in the fractal properties of time series entails a change in statistical and correlation properties. Therefore, fractal, statistical and recurrent characteristics calculated from time series were chosen as features.

Studies have shown that the statistical characteristics that reflect changes in fractal properties are variance, coefficient of variation, median, asymmetry coefficient, etc. As fractal

features, it is convenient to use the value of the Hurst exponent and the generalized Hurst exponent.

A fairly new approach to the use of time series features in machine learning is the calculation of recurrence characteristics. A recurrence plot is an array of points, where an element with coordinates (i, j) characterizes the proximity of points i and j of the time series in the phase space. The numerical analysis of recurrence plots allows one to calculate the quantitative degrees of complexity of the structures of recurrence plots, such as a measure of recurrence, a measure of determinism, a measure of entropy, etc. These characteristics are useful as features in machine learning

A comparative analysis of the classification methods for fractal time series allows us to offer an information classification technology based on machine learning methods. Let's consider its short description.

1. Pre-processing of data.

2. Evaluation of self-similar and multifractal properties of time series for different classes. The key point is the determination of the fact that different classes of time series have quite different fractal properties. If the fractal properties for different classes are almost the same, then this approach does not make sense to use.

3. Studies have shown that the classification of time series with strong multifractal properties is the best. In this case, the series are most accurately classified using a random forest based on regression trees. It is sufficient to use the statistical and fractal characteristics as features.

4. In the case when the time series has average multifractal properties, statistical and fractal characteristics can be used as features. In the persistent case, the bagging method with regression trees v , and in the antipersistent case the Random Forest with regression trees is used.

5. If the multifractal properties are weakly expressed, that is, the time series can be considered as conditionally monofractal, then recurrent characteristics should be used as additional features. Studies have shown that in the case of monofractality, the best classification results are obtained by the use of neural networks.

Кириченко Людмила Олеговна - д.т.н., професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Булах Віталій Анатольевич - асистент кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки.

Зинченко Петр Петрович - аспірант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Тавалбех Максим Хаджем - аспірант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки

Кіріченко Людмила Олегівна – д.т.н., професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Булах Віталій Анатолійович – асистент кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки.

Зінченко Петро Петрович – аспірант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки.

Тавалбех Максим Хаджем – аспірант кафедри прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки

Kirichenko Lyudmyla - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Applied Mathematics, Kharkov National University of Radio Electronics.

Bulakh Vitalii - Assistant of the Department of Systems Engineering, Kharkov National University of Radio Electronics.

Zinchenko Petro - graduate student of the Department of Applied Mathematics, dozens of Kharkov National University of Radio Electronics.

Tawalbeh Maxim - graduate student of the Department of Applied Mathematics, Kharkov National University of Radio Electronics.

В.В. Скалозуб, Б.Б. Білий, О.О. Галабут, О.В. Мурашов

**МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ З
ПЕРЕМІННИМ ІНТЕРВАЛОМ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА КОНСТРУКТИВНОГО
УПОРЯДКУВАННЯ «З ВАГОЮ»**

Анотація. У статті досліджені актуальні питання щодо моделювання та аналізу недетермінованих процесів, представлених нечіткими часовими послідовностями з нерівномірними інтервалами між спостереженнями. Метою дослідження являється розробка нової сепарабельної моделі та методу аналізу і прогнозування таких часових рядів. Модель відрізняється окремим формуванням послідовностей величин показників та інтервалів між спостереженнями, з подальшим їх узгодженням. Представлено програмний комплекс та результати моделювання, отримані на основі удосконаленої нечіткої квантильної моделі.

Запропоновано нові змістовні та формальні постановки завдань щодо упорядкування послідовностей елементів, які відрізняються урахуванням різної складності (ваги) окремих конструктивних операцій. Наводяться інтелектуальні алгоритми реалізації завдань упорядкування «з вагою».

Ключові слова: недетерміновані часові послідовності, нерівномірний інтервал, сепарабельна модель, нечітка квантильна модель, упорядкування векторів з «вагою».

Вступ та постановка проблеми. Різноманітні технологічні, виробничі, інформаційні, лікувальні та інші процеси у складних системах можуть мати значний ступень невизначеності деяких параметрів і характеристик. При цьому для них на практиці можливо отримання лише нерегулярні у часі послідовності даних (НЧПД), через різні за величинами інтервали. Для аналізу таких процесів є лише нерівномірні у часі послідовності даних, які характеризують зміни різноманітних показників систем. До таких процесів можливо віднести моніторинг щодо лікування захворювань, функціонування програмних і багатьох інших складних систем, у тому числі залізничного транспорту, які можуть характеризуватися високим ступенем невизначеності певних характеристик. При цьому суттєвою є умова нерівномірності інтервалів контролю параметрів та можливість їх подання як детерміновани-

ми, так і нечіткими величинами (НВ). Нерівномірність інтервалів контролю ускладнює і часто навіть унеможливорює моделювання та аналіз таких процесів загально прийнятими методами. Головними завданнями, які вирішуються за такими послідовностями (нерівномірні та нечіткі за часом часові ряди - НЧР) спостережень являються: прогнозування максимального (нечіткого) періоду до подій, які відповідають заданим вимогам, а також визначення певних закономірностей для заданих величин. Аналіз публікацій показав суттєву обмеженість підходів та моделей, за якими досліджуються процеси з перемінними інтервалами між рівнями ЧР. На тепер завдання щодо розвитку методів аналізу процесів з нерівномірними у часі послідовностями даних являються актуальними.

Важливими практично та мають значний теоретичний інтерес також мають неklasичні завдання, які зводяться до конструктивного упорядкування елементів. Їх вирішення суттєво відрізняються від завдань сортування та ін. Для вирішення завдань упорядкування з «вагою» необхідно виконати нові змістовні та формальні постановки завдань, сформулювати моделі операцій, побудувати метрики для порівняння станів процесів формування, а також розробити спеціалізовані алгоритми реалізації завдань упорядкування «з вагою», що певним чином виконано у роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можливості реалізації запропонованого методу суттєво залежать від ефективності алгоритмів моделювання нечітких часових рядів. Дослідження за останні 20 років методів моделювання НЧР показують, що багато дослідників використовували нечіткі часові ряди для вирішення багатьох завдань прогнозування. При цьому найбільше відомі методи потребують достатньо велику попередню історичну базу, вони також мають складні розрахунки щодо формування моделей прийнятної точності, а прості у розрахунках моделі мають порівняно низьку точність моделей НЧПД [1 – 4, 7]. Найбільшу актуальність мають методи формування, які здатні обробляти НЧПД в декілька кроків з високою точністю та малою перед історією процесів.

Сонг і Чіссонг розробили концепцію нечітких часових моделей для прогнозування щодо зарахування до Університету Алабами (УА) [1, 2],. Чен представив метод прогнозування зарахування до УА на основі ряду нечітких

зубців. Він має перевагу, що полягає в скороченні часу обчислень, і спрощення процесу розрахунків та використанні простих арифметичних операцій з нечіткими числами [3], Хуанг використовував спрощені обчислення з додаванням евристичних правил для прогнозування зарахування до УА [6], Чен запропонував метод прогнозування, заснований на нечітких часових оцінках високого порядку, для прогнозування проблеми реєстрації [3. 10]. Чен і Хванг розробили метод на основі НЧР для прогнозування добової температури [10]. Цаур. Янг і Ван запропонували матрицю нечітких відносин для подання незмінного в часі відношення [11].

Салліван і Вудалл переглянули модель нечітких часових періодів першого порядку і представили нестационарну модель нечітких часових рядів першого порядку, де їх моделі порівнюються з марківською моделлю [12]. Джілані. Бумс і Ардил представили нові метрики для прогнозування різноманітних НЧР інтервалів високого порядку для прогнозу нещасних випадків у автомобільних аваріях у Бельгії [13]. Чи і Ченг запропонували нову модель детермінованого прогнозування для вирішення проблеми довжин інтервалів в точному сенсі точності і надійності. При цьому була застосована модель для прогнозування зарахування в УА [9].

В [8] подана комплексна концепція для підвищення продуктивності та врахування майбутніх тенденцій. Новий підхід, заснований на прогнозуванні тенденції з використанням нечітких відносин третього порядку, був використаний для прогнозування TA1FEX. Отримані результати показують, що цей метод порівняно краще інших подібних, з точки зору складності моделі і точності прогнозування. Цей підхід застосовано у нашій статті. Аналіз матеріалів публікацій показав суттєву обмеженість підходів та моделей, за якими досліджуються процеси з перемінними інтервалами між рівнями ЧР. У статті вирішується завдання щодо розвитку методів аналізу процесів з нерівномірними у часі послідовностями даних.

На практиці виникає багато завдань планування, які зводяться до конструктивного упорядкування елементів з урахуванням складності операцій формування процесів. У дослідженні [15] представлені структура і моделі інноваційної інтелектуальної технології по формуванню залізничних багато групових составів (БГС) на сортувальних станціях, яка використовує для фо-

рмування весь попередній досвід таких процесів. У ній головним є завдання формування спеціалізованих моделей, методів і засобів зазначених процесів, що мають відміну від існуючих в переході від одного окремого поточно-го завдання формування складу поїзда (ЗФС), як в існуючих методиках і технологіях, до встановлення зв'язку цього ЗФС з раніше виконаними розрахунками. Результати таких розрахунків далі зберігаються в базах даних і базах знань шаблонів (БЗнШ) автоматизованої системи формування багато групових складів поїздів. Створення бази БЗнШ дозволяє розглядати задачу РФ як пошук шаблону з подальшим доформуванням, а не як завдання повного перебору. Реалізація завдань РФ виконана наступними функціональними модулями: уніфікація та інтерпретація вхідних даних про БГС, пошук раціонального шаблону в БЗнШ, розрахунки схеми формування по знайденому шаблону з урахуванням потужності сортувальної станції, алгоритми перебору варіантів з використанням існуючих методів РФ [15].

Мета дослідження. Метою цього дослідження являється розробка нової сепарабельної моделі та методу аналізу і прогнозування нечітких часових рядів з нерівномірними інтервалами.. В статті також досліджуються нові змістовні та формальні постановки завдань із упорядкування послідовностей елементів, які відрізняються урахуванням різної складності (ваги) окремих операцій конструювання.

Результати та основний матеріал дослідження. В якості базової моделі недетермінованих процесів, представлених у НЧПД, застосовується квантильна модель FTS, Fuzzy Time Series першого порядку [1/2]. Для цієї моделі характерним являється наступне перетворення даних, що характеризують досліджувані процеси. Нехай U – «всесвіт дискурсу», область значень (1), а A – нечітка множина U (2), визначені як

$$U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

$$A_i = \int A_i(x_1) + \int A_i(x_2) + \dots + \int A_i(x_n) \quad (2)$$

де $\int A_i(x_1)$ - функція належності нечіткої множини A_i , а $\int A_i(x_1)$ - ступінь належності x_1 до A_i . Далі нехай $Y(t) = (t = \dots, 0, 1, 2, \dots)$ - всесвіт дискурсу, а $Y(t) \subseteq R$. Припустимо, що $f_i(t)$, $i = 1, 2, \dots$ визначається у всесвіті дискурсу

$Y(t)$, а $F(t)$ є сукупністю $f(t_i)$, $i=1,2,\dots$, тоді $F(t)$ називається нечітким часовим рядом, як і $Y(t)$, $i=1,2,\dots$. Використовуючи нечітке відношення, визначають $F(t)=F(t-1)$ про $R(t,t-1)$, де $R(t,t-1)$ - нечітке співвідношення, а « \circ » - оператор композиції max-min. Тобто викликається $F(t)$ по $F(t-1)$, де $F(t)$ і $F(t-1)$ нечіткі множини дуг.

Розглянемо $F(t)$ - нечіткий часовий ряд, а також $R(t,t-1)$ - модель першого порядку $F(t)$. Якщо $R(t,t-1)=R(t-1,t-2)$ для будь-якого моменту часу t , тоді $F(t)$ називають інваріантним по часу, а якщо $R(t,t-1)$ залежить від часу t , тобто $R(t,t-1)$ може відрізнятися від $R(t-1,t-2)$ для будь-якого t , тоді $F(t)$ називається часовим варіантом нечітких часових рядів [7, 11].

Коли для нечіткого ряду $F(t)$ визначені $F(t-1)$, $F(t-2)$, ..., $F(t-n)$, тоді нечітке логічне відношення n -го порядку подається як (3)

$$F(t-n), \dots, F(t-2), F(t-1) \rightarrow F(t) \quad (3)$$

де $F(t-1), F(t-2), \dots, F(t-n)$ і $F(t)$ - нечіткі множини; в (3) $F(t-1)$, $F(t-2)$, ..., $F(t-n)$ називають антецедентом, а $F(t)$ є наслідком нечітких логічних відносин n -го порядку. Множини нечітких логічних відносин n -го порядку мають ті ж самі попередники, які утворюють групу нечітких логічних відносин n -го порядку.

Квантильная регресія, розроблена Кенкером [5], є розширенням моделі класичної оцінки найменших квадратів умовного середнього. Метод формування квантильної моделі складається з трьох кроків. На першому кроці визначають всесвіт дискурсу U нечіткої часової послідовності, який розбивають на u_n рівних інтервалів. При збільшенні кількості u_n інтервалів потенційно збільшується точність отриманої моделі. На другому кроці створюють групи нечітких логічних відносин вищого порядку [5]. Для простоти обчислень використовуємо трикутну функцію належності при визначенні лінгвістичних членів A_1, A_2, \dots, A_n . На третьому кроці для групи нечітких логічних відносин вищого порядку прогнозують значення, яке розраховується з використанням умов третього порядку. Вводиться параметр «Тренд» та па-

раметр k (каппа), який є граничним значенням при формуванні очікуваного тренду. Вибір параметра «каппа» k виконується методом проб, що має істотний вплив на загальну придатність запропонованого методу прогнозування.

Приведемо опис удосконаленого нами квантильного моделювання, з відзнакою уведених відмінностей. Основним для визначення локального напрямку моделі часової послідовності являється параметр «Тренд», що розраховується відповідно до величин показника «каппа»

$$\left((y_{n-1} - y_{n-2}) - (y_{n-2} - y_{n-3})\right) > k_2, \quad (4)$$

$$\left((y_{n-1} - y_{n-2}) - (y_{n-2} - y_{n-3})\right) < k_1, \quad (5)$$

$$\left((y_{n-1} - y_{n-2}) - (y_{n-2} - y_{n-3})\right) = [k_1, k_2], \quad (6)$$

де n – крок (рівень) ітерації; y_n – значення показників щодо представлення рівнів нечіткої часової послідовності; k – параметр «каппа», який нами був представлений діапазоном $[k_1, k_2]$, а не точковою величиною, як у [11].

Параметр «каппа» в моделі ряду дозволяє вибрати напрямок тренду, при цьому k_1, k_2 дорівнюють (приймалося Δk – 5% параметру «каппа»)

$$k_1 = k_{appa} - \Delta k, k_2 = k_{appa} + \Delta k \quad (7)$$

якщо для «Тренд» виконується умова (4), то прогнозоване значення розраховується за формулою (8)

$$t_n = \frac{2}{\frac{0.25}{y_{n-2}} + \frac{1}{y_{n-3}} + \frac{0.75}{y_{n-1}}} \quad (8)$$

При виконанні умови (5) прогнозоване значення розраховується відповідно (9)

$$t_n = \frac{2}{\frac{0.75}{y_{n-2}} + \frac{1}{y_{n-3}} + \frac{0.25}{y_{n-1}}}, \quad (9)$$

а при умові (6) прогнозоване значення тренду розраховується за формулою (10)

$$t_n = \frac{2}{\frac{0.5}{y_{n-2}} + \frac{1}{y_{n-3}} + \frac{0.5}{y_{n-1}}} \quad (10)$$

де u_n – значення показників щодо представлення рівнів нечіткої часової послідовності, що у базовій квантильній моделі [11] позначаються як m_{j-1} , m_j та m_{j+1} , і означають середні точки інтервалів u_{j-1} , u_j , u_{j+1} множини U (2) з відповідними лінгвістичними термами A_{j-1} , A_j та A_{j+1} . У моделі (8) – (10) значення u_n можуть бути розраховані також іншим чином, в залежності від змісту та обраної форми лінгвістичних термів A_j . Метод (4) – (10) виконується ітераційно: визначається «Тренд» за (4) – (6), розраховується прогнозне значення за (8) – (10).

Нами також були запропоновані інші моделі щодо оцінювання тренду, які виявилися ефективними. Зокрема, визначення тренду на основі агрегованих ЧР, утворених на основі вихідного. Також були виконані контрольні обчислення за методом (4) – (10) навіть з використанням самих величин рівнів вихідного часового ряду, які показали досить високу ступінь достовірності моделей. Порівняння результатів моделювання за методом (4) – (10) з іншими відомими (методи Чена, Хуана, Лі, «квантильна модель» [5]) показали, що вдосконалений метод на основі квантильної моделі має велику точність прогнозування та швидкість розрахунків.

Програмний комплекс для сепарабельного моделювання НЧР.

На основі методів сепарабельного представлення НЧПД, а також наведених процедур прогнозування, був розроблений програмний комплекс моделювання та дослідження, структура якого подана на рис. 1. Головними функціями комплексу являються наступні. Реалізація методу моделювання НЧПД (МНПД), що обробляє нерівномірні у часі послідовності даних. Метод також включає процедури оцінювання напрямку тренду, від чого залежить розрахунок прогнозного значення НЧПД. Для розмноження нерегулярних часових послідовностей у комплексі були реалізовані процедури методу бутстреп [11], які моделюють подібні структури існуючих даних. Передбачено також процедури формування агрегованих часових послідовностей на основі декількох рівнів вихідних ЧР, а також функції для графічного та числового відображення контрольованих процесів. У програмній системі передбачені віконні функції щодо введення параметрів роботи певних методів.

Для дослідження придатності та якості комплексу моделювання НЧПД були використані показники аналізів хворих на діабет, представлені на рис. 2.

На рис. 2(б) представлений ЧР, утворений шляхом розмноження методом бутстрепу кількості спостережень з 16 до 30.

Для порівняння вхідних НЧПД з моделлю реалізовано кольорове відображення: синьою лінією помічені вхідні послідовності, а помаранчевою – їх моделі, або різний типліній. Передбачено декілька режимів відображення графіків, де останні 3 точки представляють прогнозні оцінки очікуваних рівнів.

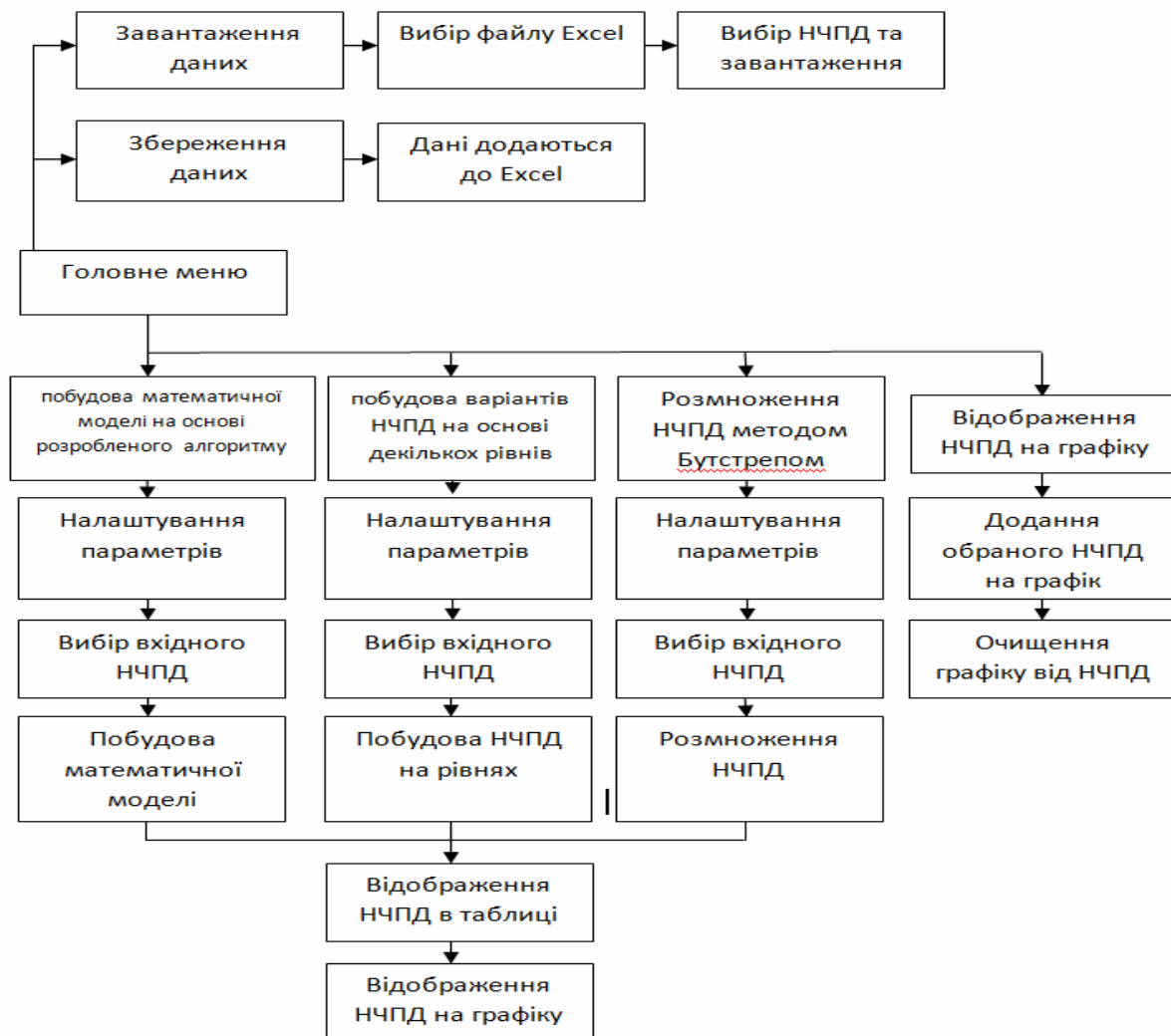


Рисунок 1 – Структура програмного комплексу моделювання НЧПД



а)



б)

Рисунок 2 – а) Динаміка зміни рівня глюкози в крові пацієнта 1949.

б) Розмножений ЧР рівня глюкози в крові пацієнта 1945

На рис. 3 – рис. 5 приведені приклади сепарабельного моделювання індивідуального процесу лікування на основі обмеженої нерегулярної послідовності даних. Рис. 3 представляє модель рівнів глюкози, рис. 4 – являється моделлю часової координати, інтервалів між обстеженнями, нарешті рис. 5 показує фрагмент узагальнюючої сепарабельної моделі, утвореної з використанням моделей рівнів глюкози та інтервалів часу шляхом співставлення їх однакових за номерами рівнів. Рисунки дають у цілому досить вірне відображення рівнів послідовностей окремих складових, а також правдоподібне моделювання тенденції останніх прогнозних значень.

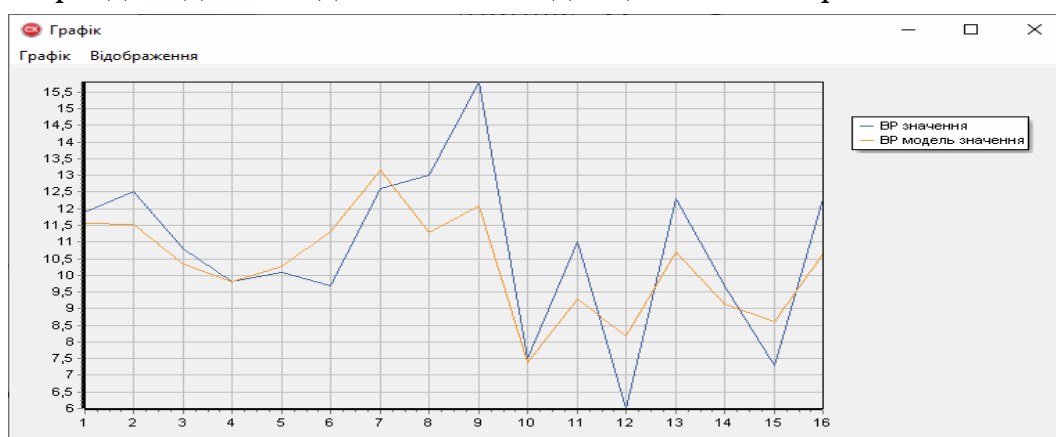


Рисунок 3 – Відображення упорядкованих значень параметру процесу

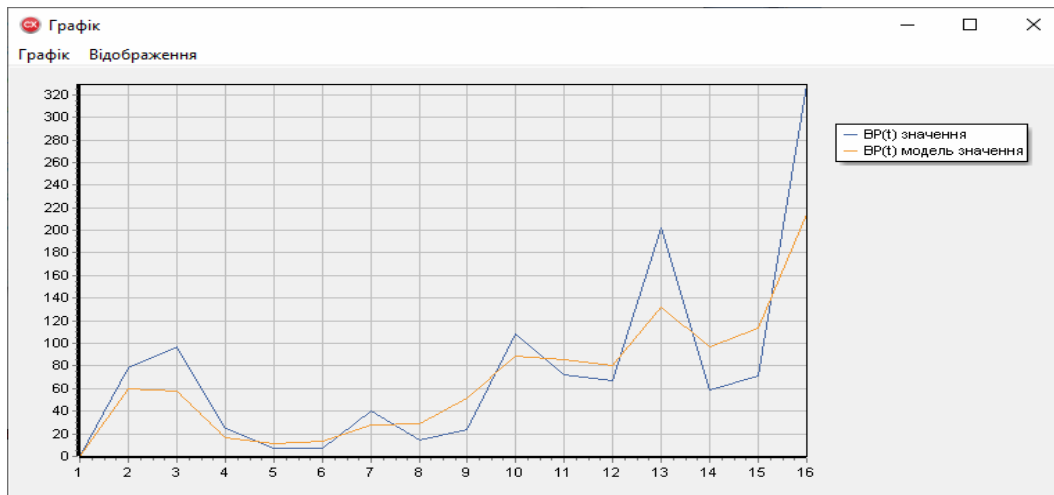


Рисунок 4 – Відображення упорядкованих величин часових інтервалів

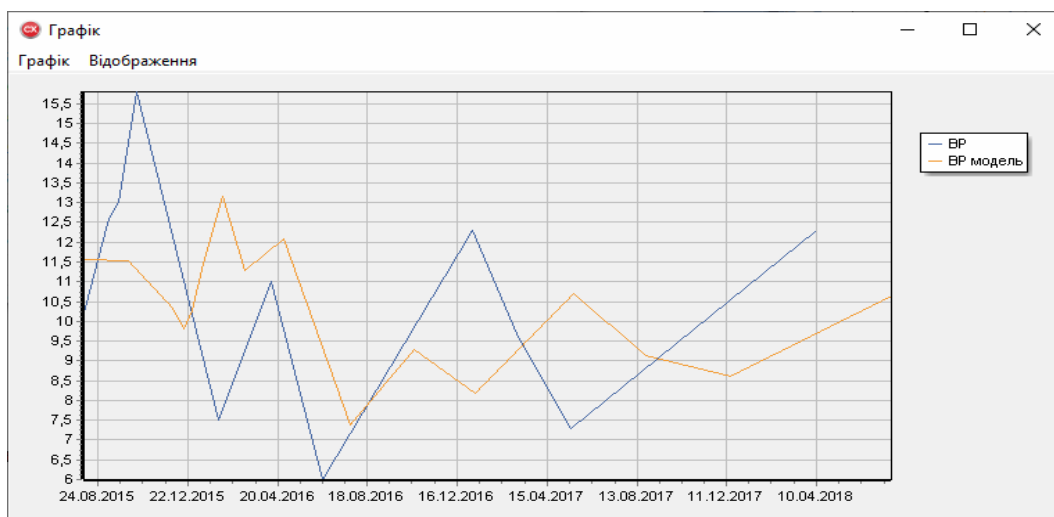


Рисунок 5 – Відображення нерівномірної часової послідовності на основі сепарабельної моделі

Моделі та процедури конструктивного упорядкування з «вагою» операцій. Завдання і процедури щодо упорядкування (оптимального) елементів певних множин, з метою отримання визначених структур шляхом застосування наборів операцій конструювання, надзвичайно розповсюджені у різноманітних технологіях. Прикладом такої залізничної технології щодо процесів конструктивного упорядкування з «вагою» операцій являється технологія розформування-формування (РФ) залізничних составів. Формування составів, особливо багато групових (БГС), є одним з найбільш трудомістких елементів процесу переробки вагонів на станціях і помітно впливає на терміни доставки вантажів.

Узагальнена змістовна постановка завдань щодо упорядкування послідовностей елементів (in-потоків) з урахуванням різної складності окремих операцій (УПСО) конструювання цільових послідовностей елементів (out-потоки) може бути представлена так: багатопотокове on-line упорядкування довільних послідовностей неоднорідних елементів (замовлень) з урахуванням структури та складності операцій, а також встановлених обмежень на ресурси системи формування (обслуговування). Вважаються відомими множина та елементи in-потоків замовлень (з їх визначеними властивостями – індекс out-потoku, pos-індексу призначення, вимірювані показники, припустимі операції, пріоритет in.), сукупність операцій конструювання out-потоків з оцінками відносної/абсолютної складності (ваги), загальні ресурси та обмеження щодо можливостей процесів конструювання вихідних потоків, умови або вимоги завершення процедур конструювання послідовностей out-потоків. Багатопотоковість означає можливість існування елементів із однаковим індексом out-потoku у кількох in-потоках. Умова on-line зазначає можливість не одночасної появи елементів in-потоків, що в загальному випадку може привести до необхідності застосування додаткових операцій формування, які потрібні для забезпечення умови упорядкування out-потоків, або припинення формування вихідних послідовностей елементів, а також виконувати упорядкування за кілька окремих етапів. Необхідно сформувати модель процесу формування на основі заданої множини неупорядкованих in-потоків замовлень множину упорядкованих за pos-індексами призначення out-потоків таким чином, щоб мінімізувати загальні витрати на процеси формування при виконанні умов складності операцій конструювання та ресурсних обмежень.

До такої форми завдань можливо привести різноманітні конкретні категорії прикладних завдань (формування неоднорідних потоків у мережах, процедури виконання моніторингу, планування процесів обслуговування замовлень in.), також РФ.

Наприклад, наведена постановка, безумовно, визначає і типові завдання РФ одного состава поїзда на кілька залізничних напрямів. Її також можливо застосувати для завдання планування процесів моніторингу (out-потік) стану здоров'я багатьох хворих, рівні глюкози яких прогнозуються

шляхом моделювання індивідуального процесу лікування (in-потоки), рис. 3 – 5. Математичні моделі конкретних завдань on-line упорядкування формуються за рахунок визначення складових УПСО, кожна з яких потребує окремого додаткового дослідження.

На прикладі завдань розформування-формування составів представимо загальну структуру інтелектуального алгоритму реалізації завдань УПСО, відзначивши сутність та формалізм основних складових. Для реалізації моделей РФ і процедур упорядкування з урахуванням складності операцій необхідно створити узагальнені спрощені описи структур БГС (шаблони, за допомогою яких кодують состави [15]), визначити перетворення упорядковуваних послідовностей на основі кожної операції конструювання і відповідні процедури визначення їх складності, розробити метрики для порівняння станів процесів формування при виконанні всіх операцій, а також побудувати (у нашому випадку інтелектуальний продукційний) алгоритм реалізації завдань упорядкування «з вагою».

В якості метрики упорядкування був запропонований показник, який дорівнює сумі числа невірних позицій елементів по кожному номеру послідовності що формується. Розрахунки показали що він відповідає умовам метрики і забезпечує результативність процесів упорядкування. При оцінюванні станів процесу конструювання при кількох фрагментах загальна оцінка упорядкування визначається на основі цієї метрики, для чого розглядаються усі варіанти приписування фрагментів для утворення єдиної послідовності елементів.

Для зменшення складності процесу конструктивного упорядкування потоків даних застосовуються процедури формування баз знань ефективних шаблонів БЗнШ, отриманих із попередніх розрахунків, та їх використання для відбору початкових шаблонів послідовностей операцій за рахунок процедур співставлення структур елементів in-поток з структурами шаблонів БЗнШ, подібно до [15].

Основний цикл продукційного алгоритму конструктивного формування вихідних послідовностей складається із таких етапів. Для поточного стану процесу формування виконати усі можливі операції перетворення, оцінити отриманий показник упорядкування з використанням метрики, а

також оцінки складності кожного із припустимих станів. Якщо виконана умова кінця процесу – зупинитися. Інакше, вибрати стан з максимальним показником упорядкування для наступного кроку. Якщо таких станів декілька, вибрати стан з мінімальною оцінкою складності. Перейти до повтору ітерації. Розрахунки для процесів РФ составів показали, що для них такий алгоритм являється жадібним.

Висновки. У статті представлено нову математичну модель, призначену для аналізу НЧПД, яка має відмінність у окремому моделюванні послідовностей величин показників і інтервалів між окремими спостереженнями. Також викладено базову інформацію про програмний комплекс для аналізу та дослідження властивостей НЧПД або НЧР, створений на основі цієї нової категорії нечітких моделей. Для моделювання процесів НЧПД в статті вперше використані спеціальні сепарабельні форми обліку часових інтервалів між рівнями часового ряду (ЧР). При сепарабельній формі моделі ЧР нерівномірні (або нечіткі) інтервали виділяються у окрему складову моделі НЧР. Вони є однією та окремою складовою вектору характеристик процесів. Ця складова моделюється окремо, коли враховуються лише послідовності величин часових інтервалів. В подальшому на результати моделювання таких інтервалів «накладаються» результати моделювання інших характеристик у відповідності до порядку їх розміщення у початкових НЧР. Для реалізації моделей і процедур упорядкування з «вагою» були сформовані метрики для порівняння станів процесів формування, а також побудовані інтелектуальні продукційні алгоритми реалізації завдань упорядкування «з вагою». Результати моделювання були отримані на основі розробленого нами програмного комплексу. Вони показали досить високу придатність та обчислювальну ефективність запропонованої сепарабельної моделі. Аналіз результатів розрахунків із упорядкування елементів підтвердив результативність запропонованих інтелектуальних алгоритмів упорядкування з «вагою» операцій.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Q. Song, and B. S. Chissom, "Forecasting enrollments with fuzzy time series — Part I," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 1, 1993a, pp. 1–9.
2. B. S. Chissom, "Fuzzy time series and its models," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 3, 1993b, pp. 269–277.

3. S. M. Chen, "Forecasting enrollments based on fuzzy time series," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 81, 1996, pp. 311-319.
4. Tahseen A., Jilani S., Aqil B., Ardil C. Multivariate High Order Fuzzy Time Series Forecasting for Car Road Accidents [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/285870449_Multivariate_High_Order_Fuzzy_Time_Series_Forecasting_for_Car_Road_Accidents
5. R. Koenker, "Quantile Regression", Cambridge University Press, NY- 2005. pp. 137 – 143.
6. K. Huarng, "Effective lengths of intervals to improve forecasting in fuzzy time series," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 123, issue 3, 2001b, pp. 387-394.
7. Q. Song, "A note on fuzzy time series model selection with sample autocorrelation functions," *Cybernetics and Systems: An International Journal*, vol. 34, 2003, pp. 93-107.
8. Tahseen A., Aqil S., Burney Cemal A. A New Quantile Based Fuzzy Time Series Forecasting Model [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://publications.waset.org/14214/pdf>
9. S. -T. Li, and Y. -C. Cheng, "Deterministic fuzzy time series model for forecasting enrollments," *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 53, 2007, pp. 1904-1920.
10. S.-M. Chen, and J.-R. Hwang, "Temperature prediction using fuzzy time series, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics — Part B*," *Cybernetics*, vol. 30, 2000, pp. 263-275.
11. R. -C. Tsaor, J. -C. O. Yang, and H. -F. Wang, "Fuzzy relation analysis in fuzzy time series model," *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 49, 2005, pp. 539-548.
12. J. Sullivan, and W. H. Woodall, "A comparison of fuzzy forecasting and Markov modeling," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 64, 1996, pp. 279-293.
13. T. A. Jilani, S. M. A. Burney, and C. Ardil, "Multivariate high order fuzzy time series forecasting for car road accidents," *International Journal of Computational Intelligence*, vol. 4, issue 1, 2007b, pp. 15-20.
14. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування /Геєць В.М., Клебанова Т.С., Черняк О.І. – Харків: ВД «ІНЖЕК», 2005. – 396 с.
15. Скалозуб В.В., Белый Б.Б. Структура інтелектуальної інформаційної технології формування багатогрупних составів //Транспортні системи та технології перевезень. – 2019. – №. 17. С. 62 – 69.

REFERENCES

1. Q. Song, and B. S. Chissom, "Forecasting enrollments with fuzzy time series — Part I," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 1, 1993a, pp. 1-9.
2. B. S. Chissom, "Fuzzy time series and its models," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 3, 1993b, pp. 269-277.
3. S. M. Chen, "Forecasting enrollments based on fuzzy time series," Fuzzy Sets and Systems, vol. 81, 1996, pp. 311-319.
4. Tahseen A., Jilani S., Aqil B., Ardil C. Multivariate High Order Fuzzy Time Series Forecasting for Car Road Accidents [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/285870449_Multivariate_High_Order_Fuzzy_Time_Series_Forecasting_for_Car_Road_Accidents
5. R. Koenker, "Quantile Regression", Cambridge University Press, NY- 2005. pp. 137 – 143.
6. K. Huarng, "Effective lengths of intervals to improve forecasting in fuzzy time series," Fuzzy Sets and Systems, vol. 123, issue 3, 2001b, pp. 387-394.
7. Q. Song, "A note on fuzzy time series model selection with sample autocorrelation functions," Cybernetics and Systems: An International Journal, vol. 34, 2003, pp. 93-107.
8. Tahseen A., Aqil S., Burney Cemal A. A New Quantile Based Fuzzy Time Series Forecasting Model [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://publications.waset.org/14214/pdf>
9. S. -T. Li, and Y. -C. Cheng, "Deterministic fuzzy time series model for forecasting enrollments," Computers and Mathematics with Applications, vol. 53, 2007, pp. 1904-1920.
10. S.-M. Chen, and J.-R. Hwang, "Temperature prediction using fuzzy time series, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics — Part B," Cybernetics, vol. 30, 2000, pp. 263-275.
11. R. -C. Tsaur, J. -C. O. Yang, and H. -F. Wang, "Fuzzy relation analysis in fuzzy time series model," Computers and Mathematics with Applications, vol. 49, 2005, pp. 539-548.
12. J. Sullivan, and W. H. Woodall, "A comparison of fuzzy forecasting and Markov modeling," Fuzzy Sets and Systems, vol. 64, 1996, pp. 279-293.
13. T. A. Jilani, S. M. A. Burney, and C. Ardil, "Multivariate high order fuzzy time series forecasting for car road accidents," International Journal of Computational Intelligence, vol. 4, issue 1, 2007b, pp. 15-20.

14. Models and methods of socio-economic forecasting / Geyets V.M., Klebanova T.S., Chernyak O.I. – Kharkiv: PH « INZHEK», 205. – 396 p.

Skalozub V.V., Belyy B.B. Structure of intellectual information technology for formation of multi-group train // Transport systems and technology of transportation. – 2019. – №. 17. P. 62 – 69.

Received 27.02.2020.

Accepted 04.03.2020.

Методы интеллектуального моделирования процессов с переменным интервалом наблюдений и конструктивного упорядочения «с весом»

В статье исследованы актуальные вопросы моделирования и анализа недетерминированных процессов, представленных нечеткими временными последовательностями с неравными интервалами между наблюдениями. Целью исследования является разработка новой сепарабельной модели и метода анализа и прогнозирования таких временных рядов. Модель отличается отдельным формированием последовательностей величин показателей и интервалов между наблюдениями, с последующим их согласованием. Представлены программный комплекс и результаты моделирования, полученные на основе усовершенствованной нечеткой квантильной модели.

Предложены новые содержательные и формальные постановки задач по упорядочению последовательностей элементов, которые отличаются учетом различной сложности (веса) отдельных операций. Приводятся интеллектуальные алгоритмы реализации задач упорядочения «с весом».

Methods of intelligent modeling of processes with a variable observation interval and constructive ordering “with weight”

The article explores topical issues regarding the modeling and analysis of non-deterministic processes, represented by fuzzy time sequences with irregular intervals between observations. The analysis of the publications showed the high possibilities and effectiveness of the application of the methods of fuzzy time sequences for solving such problems. The purpose of the research is to develop a new separable model and method of analysis and prediction of fuzzy time series with irregular intervals. We propose a model of these processes, which differs from the known method of forming models of sequences, both the magnitudes of the process indicators and the intervals between observations. In the proposed method, such models are formed separately and subsequently agreed upon. There was found that the feasibility of the proposed method depends significantly on the efficiency of fuzzy time series modeling algorithms. In order to implement separable models of fuzzy time series with irregular intervals, the fuzzy quantile method was improved.

The article proposes new substantive and formal formulations of tasks concerning the procedures of ordering the sequences of elements, which differ from the known ones in that they take into account the different complexity (weight) of individual operations. There were formed metrics for realization of procedures of ordering with «weight» and for comparison of states of formation processes, also there were constructed intellectual production algorithms for realization the tasks of ordering «with weight»

Скалозуб Владислав Васильевич - профессор, Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Белый Борис Борисович - аспирант, Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Галабут Александр Александрович - аспирант, Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Мурашов Олег Вячеславович - аспирант, Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Скалозуб Владислав Васильович - професор, Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Білий Борис Борисович - аспірант, Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Галабут Олександр Олександрович - аспірант, Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Мурашов Олег В'ячеславович - аспірант, Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Skalozub Vladislav - professor, Dep. "Computer and Information Technology", Dnipropetrovsk National Universal University of Public Transport named after Academician V. Lazaryan.

Biliy Boris - post-graduate student, Dep. "Computer and Information Technology", Dnipropetrovsk National Universal University of Public Transport named after Academician V. Lazaryan.

Galabut Alexander - post-graduate student, Dep. "Computer and Information Technology", Dnipropetrovsk National Universal University of Public Transport named after Academician V. Lazaryan.

Murashov Oleg - post-graduate student, Dep. "Computer and Information Technology", Dnipropetrovsk National Universal University of Public Transport named after Academician V. Lazaryan.

І.В. Баклан, О.К.Очеретяний, В.В. Григорович

СИСТЕМА АНАЛІЗУ РИТМІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ ТА ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ

Анотація. У статті розглядається програмне забезпечення для аналізу і виявлення серцево-судинних захворювань у їх початковий період, щоб забезпечити просте, швидке та набагато діюче лікування пацієнта, а також забезпечити своєчасний контроль хронічних хвороб, що у свою чергу має покращити ступінь охорони здоров'я та зменшити витрати на непотрібні заходи для нього.

Ключові слова: ЕКГ, RR-інтервали, аномалія, скатерограма, кластеризація, метод головних компонент, k-means.

Постановка проблеми. Дуже великою за масштабами проблемою, з приводу питання людського здоров'я, є невчасне визначення порушень, тобто виявлення їх не на початкових періодах, при яких достатньо всього лиш звернутися до лікаря та використати набагато простіший вид лікування хвороби аби уникнути проблеми зі станом здоров'ям, а в той період коли захворювання вже почало впливати на весь організм та на всю систему людських органів.

При вивченні медичних інформаційних систем були розглянуті консультативні діагностичні системи (КДС), котрі були розроблені та призначенні для діагностування ненормальних, або патологічних, станів. При вивченні інформації про такі системи стало зрозуміло що в них прийнято розділяти такі основні частини: база даних (БД) і база знань (БЗ); механізм для логічного висновку (МЛВ); інтерфейс користувача. Також МЛВ прийнято розділяти за способом реалізації на 1) експертні КДС, 2) імовірнісні КДС. В ЕС прийнято реалізовувати логіку прийняття рішення як досвідченим лікарем. ЕС належать до класу систем «штучного інте-

лекту». Такі підходи як формальна і неформальна (нейромережева) логіка можуть бути використані для їх побудови.

Перераховані до цього вище знання мають зберігатися у базі знань системи. Для побудови бази є необхідність проводити опитування між фахівцями, які є експертами в тій чи іншій конкретній предметній області, а потім впорядкувати, класифікувати, організувати та забезпечити ці знання показниками, аби трохи згодом була б можливість їх легко витягти з бази знань.

Аналіз існуючих підходів по темі дослідження. У 1990 році Вільям Бакст з Каліфорнійського університету в Сан-Дієго використовував нейронну мережу – багатошаровий перцептрон – для розпізнавання інфаркту міокарда у пацієнтів, що надходять в приймальний спокій з гострим болем у грудях. Також ще однією ціллю може бути покращення якості діагностики. Доволі сумна статистика має такий результат: лікар в змозі правильно діагностувати інфаркт міокарда у лише 80% хворих і може випадково поставити такий діагноз у 25% випадків. Такий відсоток помилок є завеликим. Історія вживання багатоманітних методів оброблення великої кількості даних для покращення якості діагностування нараховує десятиліття, проте кращий з них зміг допомогти зменшити число інцидентів гіпердіагностики всього лише на 3%.

Бакст використовував всього лише 20 параметрів, серед них були такі параметри вік, стать, локалізація болю, реакція на препарати, симптоми, такі як нудота і блювота, потіння, непритомність, частота дихання, пришвидшене серцебиття, попередні діагнози такі як інфаркти, гіпертонія, діабет, здуття шийної вени, ряд особливостей ЕКГ та наявність вагомих ішемічних змін.

У медицині віднаходить вживання і інша дуже важлива відзнака нейромереж – їх здібність передбачати непостійні послідовності. До цього вже зазначалося, що експертні системи досягнули успіху в аналізі ЕКГ. Нейромережі тут теж несуть велику користь. Кі Чженху, Ю Хенуві і Вілліс Томпкінс з університету штату Вісконсін розробили та підготували нейромережеву систему фільтрів для електрокардіограм, які дозволяють пригнітати нелінійний і нестаціонарний шум набагато краще та істотні-

ше, ніж методи, які використовувалися до цього. Справа в тому, що нейромережа добре завбачала шум за його вагомністю у попередні моменти часу та періоди. А те, що нейромережі мають дуже велику ефективність для передбачення несталих послідовностей, та аргументовано показали результати і наслідки змагання передбачуваних програм, які проводив університет у Санта Фе – нейромережі змогли зайняти перше місце і домінувати серед найкращих методів.

Перераховані вище технології ще далеко не вичерпують увесь діапазон застосування таких ЕС. Діагностування болю в зубній долі, прогнозування генних ускладнень, хвороби слухового апарату, раптова смертність новонароджених – ось далеко не повний спектр вдалого та результативного застосування ЕС у сучасній медицині.

Мета дослідження. Метою дослідження було покращення якості постановки діагнозів пацієнтам з серцево-судинними захворюваннями за рахунок розробки онлайн системи інтелектуального аналізу ритмів електрокардіограм для виявлення аномалій у роботі серцево-судинної системи.

В той час система має відповідати таким критеріям: гнучкість, швидкість побудови та функціональна прозорість.

Основна частина. У сьогоднішній у медицині стоїть потреба в інтелектуальному аналізі медичних даних. Сучасні лікарські моніторингові системи зобов'язані проводити централізований контроль становища пацієнтів. Моніторинг електрокардіограми (ЕКГ) пацієнтів є важким і не вирішеним завданням на даний момент.

Сигнал ЕКГ, зображений на рисунку 2.5 представляє собою часовий ряд, який є нестационарним та схильним до численних видів різноманітних перешкод.

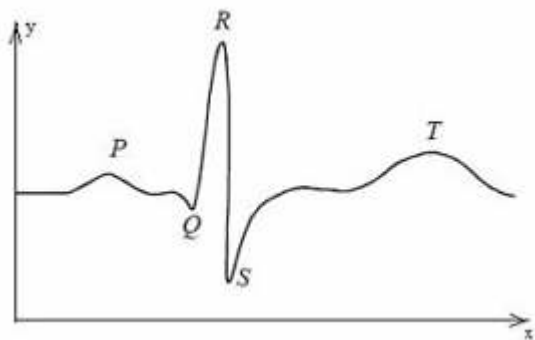


Рисунок 1 – Приклад ЕКГ: інтервали P, Q, R, S, T

Метод поверхневої реєстрації електрокардіограм. Найпоширенішим методом довготривалого реєстрування поверхневої ЕКГ є метод Холтера або холтерівське моніторування (ХМ). У медицині монітор Холтера (частіше просто Холтер) - це тип пристрою амбулаторної електрокардіографії, портативний прилад для моніторингу серця (моніторинг електричної активності серцево-судинної системи) протягом щонайменше 24 до 48 годин.

Коли запис ЕКГ-сигналу закінчено (як правило, через 24 або 48 годин), лікар повинен виконати аналіз сигналу. Оскільки для перегляду такого довгого сигналу вкрай потрібен час, в програмному забезпеченні кожного пристрою Холтера є інтегрований процес автоматичного аналізу, який автоматично визначає різного роду серцебиття, ритми тощо. Однак успіх автоматичного аналізу полягає в дуже тісно пов'язаний з якістю сигналу. Сама якість головним чином залежить від прикріплення електродів до тіла пацієнта. Якщо вони неправильно прикріплені, електромагнітні порушення можуть вплинути на сигнал ЕКГ, що призведе до дуже шумних записів. Якщо пацієнт швидко рухається, викривлення буде ще більшим. Такий запис тоді дуже важко обробити. Крім приєднання та якості електродів, існують і інші фактори, що впливають на якість сигналу, такі як тремор м'язів, швидкість дискретизації та роздільна здатність оцифрованого сигналу (пристрої високої якості пропонують більшу частоту дискретизації).

Підсумковою частиною дослідження є фінальний протокол, завданням якого є подання лікарю-кардіологу максимально інформатив-

ного висновку, з обов'язковим відображенням тих параметрів ритму серця, що здатні вплинути на тактику лікування пацієнта, та прогнозів щодо одужання.

Завдання інтелектуального аналізу ритмів ЕКГ у моніторингових системах даних допомагає в обробці та завчасному виявленні аномалій у людей для діагностики проблем серцево-судинної системи. Для оцінки сегменту зубців ST і T була використано базу даних під назвою MIT-BIH Arrhythmia, яка часто використовується при виявленні випадків інфаркту міокарда та для ґрунтовних досліджень динаміки роботи серця.

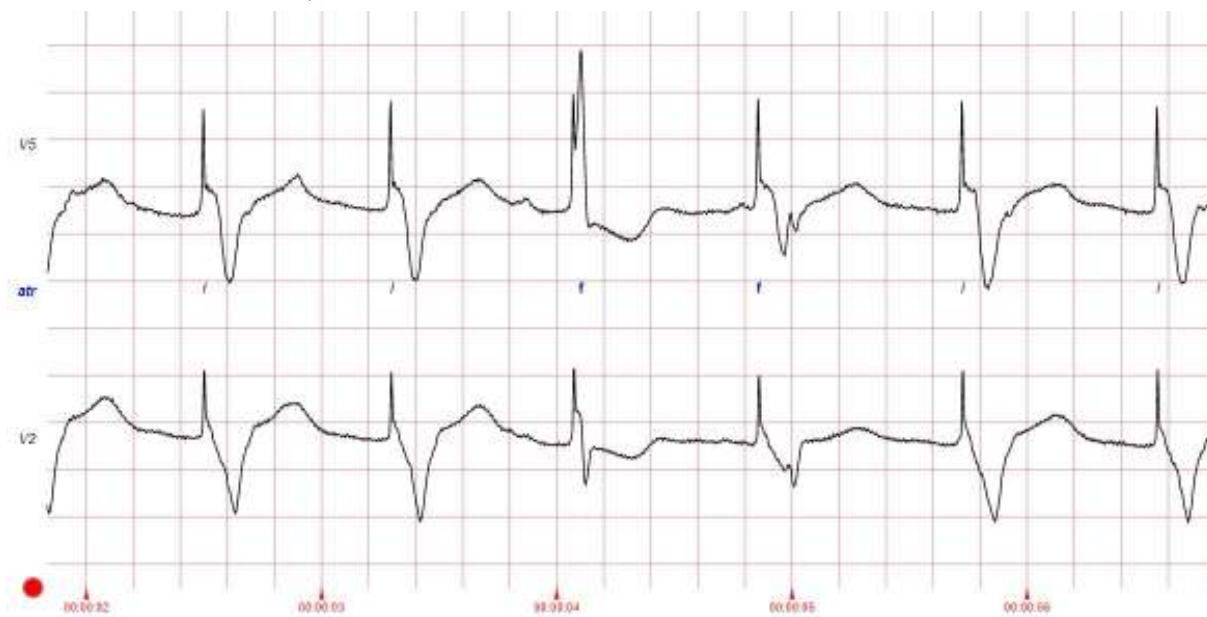


Рисунок 2 – Приклад ЕКГ бази даних аритмії MIT-BIH

Вхідним файлом для аналізу бази даних аритмії MIT-BIH може бути файл .beat. Структура такого файлу значиться стандартною для медичних баз даних часових рядів.

Для реалізації інтелектуального аналізу таких часових рядів ми використаємо медичний набір даних часових послідовностей електрокардіограм (ЕКГ) серцебиття.

Сигнали відповідають фігурам електрокардіограми (ЕКГ) серцевих розширень та скорочень для нормального випадку і випадків ураження різними видами захворювання серцево судинної системи. Ці сигнали

попередньо оброблялися і сегментувалися. Більшість медичних баз даних, використовують коди приміток. Коди показані в таблиці 1.

Таблиця 1

Кодування серцевих ударів

Код	Опис
N	Звичайний удар
L	Білий блок у гільці лівого пучка
R	Розгалуження правого боку
A	Передчасний удар передсердя
J	Передчасний нодальний удар
V	Шлуночки скорочуються передчасно
r	Передчасне скорочення шлуночків R-на-T
F	Злиття шлуночків і нормального биття
i	Втеча з передсердя
/	Збивка в темпі
Q	Удар не класифікувався
?	Удар не прокласифікувався під час навчання
j	Перебіг удару
n	Надшлуночковий бічний потік

Діаграми розкиду або кореляційні ритмографії. Діаграма розкиду (також його називають розсіювачем, діаграмою розсіювання) - це тип графіку або математичної діаграми, що використовує декартові координати для відображення значень для типово двох змінних для набору даних. Сутність методу кореляційної ритмографії полягає в графічному відображенні послідовних пар кардіоінтервалів (попереднього і наступного) в двовірній координатній площині.

Діаграми розсіювання подібні до лінійних графіків тим, що вони використовують горизонтальну та вертикальну осі для побудови точок даних. Однак вони мають цілком конкретне призначення. Діаграми розсіювання показують, на яку зміну впливає інша. Зв'язок між двома змінними називається їх кореляцією.

Діаграми розсіювання зазвичай складаються з великого масиву даних. Чим ближче дані точки наближаються, коли будується пряма лінія, тим вище кореляція між двома змінними або тим сильніший зв'язок.

Якщо точки даних проводять пряму лінію, що йде від початку до високих значень X і Y, то тоді кажуть, що змінні мають позитивну кореляцію. Якщо лінія переходить від високого значення на осі y вниз до високого значення на осі x, змінні мають негативну кореляцію.

Ідеальній позитивній кореляції присвоюється значення 1. Досконалому негативному співвідношенню задається значення -1. Якщо кореляції абсолютно немає, наведене значення дорівнює 0. Чим ближче число до 1 або -1, тим сильніша кореляція або сильніша зв'язок між змінними. Чим ближче число до 0, тим слабша кореляція. Тож щось, що, здається, співвідноситься у позитивному напрямку, може мати значення 0,67, тоді як щось із надзвичайно слабкою негативною кореляцією може мати значення -21. На рисунку 3 показані види кореляції скатерограмм.

Результати дослідження та ефективності методу представлені на схемі у таб. 2, у якій відображена схема перетворення вхідних даних від їх отримання до кінцевого результату інтелектуального аналізу.

Таблиця 2

Приклад проведеного дослідження

Пацієнт 1

N	Комп	Время	R-R мс	QRS	QR мс	RS мс	скор.	амп.Т	сиг/шум
1	A	87	680	8	---	1006	527	-1025	173
2	N	207	938	86	1855	2354	1465	---	52
3	N	299	719	94	1826	2324	1504	88	50
4	N	392	727	94	1836	2314	1436	117	52
5	N	484	719	94	1709	2188	1445	59	52
6	N	578	734	86	1748	2256	1484	137	53
7	N	670	719	86	1797	2236	1406	146	53
8	N	763	727	94	1895	2354	1523	117	52
9	N	856	727	86	1846	2324	1436	156	51
10	N	949	727	86	1777	2295	1406	127	50
11	N	1041	719	94	1748	2227	1484	127	52
12	N	1134	727	94	1768	2217	1406	137	54
13	N	1226	719	86	1650	2139	1367	-98	49
14	N	1319	727	94	1895	2324	1484	107	50
15	N	1412	727	94	1816	2275	1426	166	50
16	N	1505	727	86	1748	2217	1406	146	53
17	N	1598	727	102	1807	2334	1494	78	51
18	N	1691	727	117	1875	2451	1533	---	58
19	N	1784	727	86	1836	2451	1504	98	66
20	N	1877	727	86	1943	2383	1543	127	50

Пацієнт 2

N	Комп	Время	R-R мс	QRS	QR мс	RS мс	скор.	амп.Т	сиг/шум
1	A	87	680	8	---	1006	527	-1025	173
2	N	207	938	86	1855	2354	1465	---	52
3	N	299	719	94	1826	2324	1504	88	50
4	N	392	727	94	1836	2314	1436	117	52
5	N	484	719	94	1709	2188	1445	59	52
6	N	578	734	86	1748	2256	1484	137	53
7	N	670	719	86	1797	2236	1406	146	53
8	N	763	727	94	1895	2354	1523	117	52
9	N	856	727	86	1846	2324	1436	156	51
10	N	949	727	86	1777	2295	1406	127	50
11	N	1041	719	94	1748	2227	1484	127	52
12	N	1134	727	94	1768	2217	1406	137	54
13	N	1226	719	86	1650	2139	1367	-98	49
14	N	1319	727	94	1895	2324	1484	107	50
15	N	1412	727	94	1816	2275	1426	166	50
16	N	1505	727	86	1748	2217	1406	146	53
17	N	1598	727	102	1807	2334	1494	78	51
18	N	1691	727	117	1875	2451	1533	---	58
19	N	1784	727	86	1836	2451	1504	98	66
20	N	1877	727	86	1943	2383	1543	127	50

Рисунок 3 – Зразки перших 20-ти рядків даних ЕКГ пацієнта отриманих з системи ДіаКард

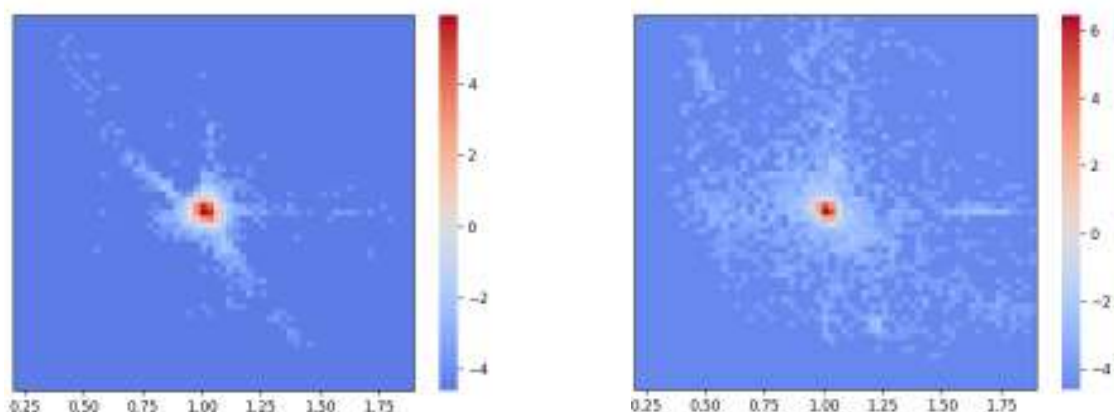


Рисунок 4 – Зразки теплової карти скатерограмми RR-інтервалів для логнормалізованих даних

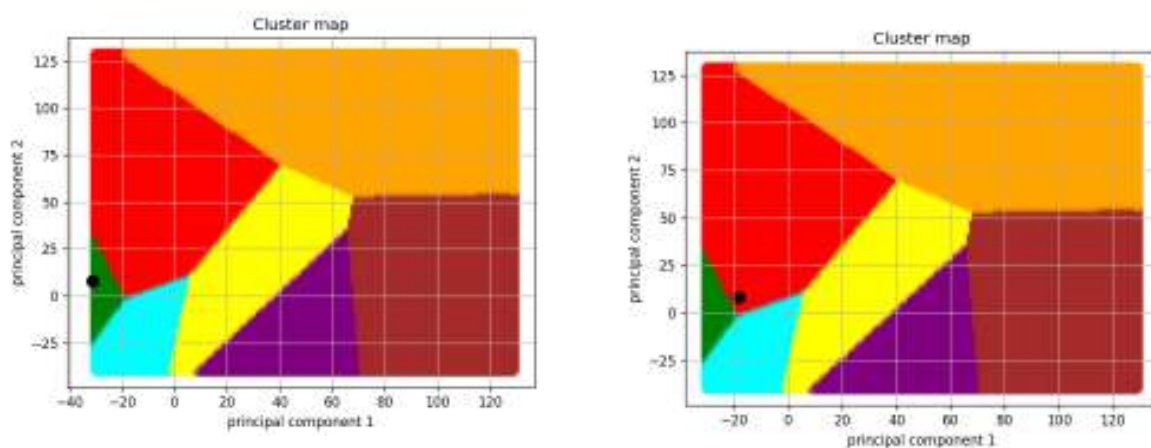


Рисунок 5 – Зразки положення точки стану пацієнта на карті зон ризику у просторі перших двох головних компонент

Висновки. В процесі виконання дослідження було реалізовано такі завдання [1,2] :

- проведений аналіз існуючих методів та підходів до кластеризації часових рядів;
- обрано оптимальний алгоритм кластеризації даних у вигляді часових рядів;
- спроектована власна система виявлення аномалій у ритмах ЕКГ;
- проведений аналіз методів та підходів згортання даних;
- розроблене власне програмне забезпечення аналізу ритмів ЕКГ та спеціалізованої бази даних до неї;
- проведені експерименти на основі тестових та реальних даних.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Григорович В.В. Інтелектуальний аналіз аномалій ритмів електрокардіограм з використанням спеціалізованих баз знань / В.В. Григорович, І.В. Баклан, А.К. Очеретяний // Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ISTU-2019) – м. Київ.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 20-22 листопада 2019 р. – С. 42-44.
2. Григорович В.В. Інтелектуальний аналіз аномалій ритмів електрокардіограм з використанням спеціалізованих баз знань / В.В. Григорович, В.І. Баклан, А.К. Очеретяний // Збірник статей LIV Міжнародна конференція "Розвиток науки в XXI столітті", 15 листопада 2019р. - Харків. Ч1. - С. 65-74.

REFERENCES

1. Grigorovich V.V. Intelktualniy analiz anomalny ritmiv elektroka-rdlogram z vikoristannyam spetsializovanih baz znan / V.V. Grigorovich, I.V. Baklan, A.K. Ocheretyaniy // Materiali III vseukraYinskoYi naukovo-praktichnoYi konferentsiyi molodih vchenih ta studentiv «Info-rmatslynI sistemi ta tehnologiyi upravlnnya» (ISTU-2019) – m. KiYiv.: NTUU «KPI Im. Igorya Sikorskogo», 20-22 listopada 2019 r. – S. 42-44.
2. Grigorovich V.V. Intelktualniy analiz anomalny ritmiv elektroka-rdlogram z vikoristannyam spetsializovanih baz znan / V.V. Grigorovich, V.I. Baklan, A.K. Ocheretyaniy // Zblrnik statey LIV Mizhnarod-na konferentsiya "Rozvitok nauki v XXI stolItI", 15 listopada 2019r. - HarkIv. Ch1. - S. 65-74.

Received 02.03.2020.

Accepted 05.03.2020.

Система анализа ритмов электрокардиограмм и обнаружения аномалий

В статье рассматривается программное обеспечение для анализа и выявления сердечно-сосудистых заболеваний в их начальный период, чтобы обеспечить простое, быстрое и гораздо действующее лечения пациента, а также обеспечить своевременный контроль хронических болезней, в свою очередь должно улучшить степень здравоохранения и уменьшить расходы на ненужные мероприятия для него.

Analysis system of electrocardiography rhythms and anomaly detection

Today, there is a need in medicine for the intellectual analysis of medical data. Modern medical monitoring systems are obliged to carry out centralized monitoring of patients. Electrocardiogram (ECG) monitoring of patients is a difficult and unsolved task at the moment. Researches in this field are conducted by scientists from different universities and countries. William Buxt of the University of California, San Diego, used a neural network - a multilayer perceptron - to detect myocardial infarction in patients who are receiving rest in acute chest pain. The fact is that the neural network has been well aware of the noise of its weight in previous times and periods. And the fact that neural networks are very effective in predicting missing sequences, and reasonably showed the results and consequences of competing predictable programs conducted by the University of Santa Fe - neural networks were able to take first place and dominate among the best methods.

The above technologies do not exhaust the full range of application of such ECs. The purpose of the study was to improve the quality of diagnosis for patients with cardiovascular disease by developing an online system for the analysis of electrocardiogram rhythms to detect abnormalities in the cardiovascular system.

A typical ECG signal is a time series that is non-stationary and prone to numerous types of interference. The task of intelligent analysis of ECG rhythms in monitoring data systems helps in the processing and early detection of anomalies in humans for the diagnosis of cardiovascular problems. A database called MIT-BIH Arrhythmia was used to evaluate the ST and T tooth segment, which is often used in the detection of cases of myocardial infarction and for thorough studies of the dynamics of the heart. An integrated clustering system was developed for the analysis.

The following tasks were accomplished in the course of the research: analysis of existing methods and approaches to clustering of time series; the optimal algorithm for clustering data in the form of time series is selected; designed own system for detecting anomalies in ECG rhythms; analysis of data collapsing methods and approaches; developed own software for analysis of ECG rhythms and specialized database for it; experiments were conducted based on test and real data.

Баклан Игорь Всеволодович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Очеретяний Александр Константинович – аспірант кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Григорович Віталій Віталієвич – магістр кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Баклан Ігор Всеволодович – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Очеретяний Олександр Костянтинович – аспірант кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Григорович Віталій Віталійович – магістр кафедри АСОІУ Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Baklan Igor - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systems, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute".

Ocheretianyi Oleksandr – PhD Student of Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systems, of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute".

Grigorovych Vitaliy - Master of Department of Computer-Aided Management And Data Processing Systems, of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute".

Ю.Д. Полисский

**ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ РЕШЕНИИ
ЗАДАЧИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОСТАТКА ЧИСЛА
В СИСТЕМЕ ОСТАТОЧНЫХ КЛАССОВ**

Аннотация. При выполнении операций расширения диапазона представления чисел, деления, определения переполнения, масштабирования, контроля ошибок вычислений возникает задача восстановления остатка числа по данному модулю на основании остатков этого числа по остальным модулям системы. Табличное выполнение операции восстановления остатка числа реализуется с помощью базового алгоритма. Метод решения основан на определении остатка по данному модулю на основании полученных остатков по остальным модулям системы. Такое определение выполняется последовательным вычитанием констант из полученных остатков и суммированием этих констант к результатам, которые формируются по данному модулю. При этом константы на каждой итерации выбираются в зависимости от значения остатка в анализируемом разряде. При несомненном достоинстве метода сохраняются требования к быстродействию выполнения операции восстановления остатка числа. Целью исследования является аналитическое рассмотрение подхода к ускоренной реализации базовой операции восстановления остатка числа по данному модулю на основании остатков этого числа по остальным модулям системы. Одна из реализаций алгоритма состоит в одновременном его выполнении по базовому варианту для искомого числа и числа, обратного искомому. При этом искомый остаток определяется по значению остатка того из чисел, для которого первым получается результат поиска. Приведены варианты реализации алгоритма с переходами от представления числа в прямом коде к представлению этого числа в обратном коде и от представления числа в обратном коде к его представлению в прямом коде. Рассмотренный алгоритм реализации в системе остаточных классов базовой немодульной операции восстановления значения остатка числа по данному модулю на основании значений остатков этого числа по остальным модулям системы обеспечивает получение искомого результата. На основе предложенных подходов достигается ускоренная реализация базовой операции восстановления остатка числа по данному модулю. Представляется целесообразным применить предложенные подходы в качестве перспективных направлений исследований этой операции в системе остаточных классов.

Ключевые слова: система остаточных классов, сложные операции, полиадический код, алгоритм.

Постановка проблемы. Одно из перспективных направлений повышения производительности вычислительных структур связано с использованием непозиционной системы счисления остаточных классов (СОК) [1]. СОК называется система счисления, в которой произвольное число N представляется в виде набора наименьших неотрицательных остатков по модулям m_1, m_2, \dots, m_n , т.е. $N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$. Здесь $\alpha_i = N \pmod{m_i}$. При этом, если числа m_i взаимно простые, то такому представлению соответствует только одно число N диапазона $[0, M)$, где $M = m_1 m_2 \dots m_n$.

Пусть системой оснований полиадического кода также является система m_1, m_2, \dots, m_n . Тогда число N в полиадическом коде представляется следующим образом

$$N = \pi_1 + \pi_2 m_1 + \pi_3 m_1 m_2 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \pi_{n-1} m_1 m_2 \dots m_{n-2} + \pi_n m_1 m_2 \dots m_{n-1},$$
 где π_i - i -я позиционная характеристика $0 \leq \pi_i < m_i - 1, i = 1, 2, \dots, n$.

Существенным недостатком СОК является сложность выполнения немодульных операций. В частности, такой операции, как восстановление остатка числа по данному модулю на основании остатков этого числа по остальным модулям системы. Данная операция необходима для выполнения операций расширения диапазона представления чисел, деления, определения переполнения, масштабирования, контроля ошибок вычислений.

Анализ последних исследований и публикаций. Табличное выполнение операции восстановления остатка числа реализуется с помощью базового алгоритма [2-4]. Метод решения основан на определении остатка по данному модулю на основании полученных остатков по остальным модулям системы. Такое определение выполняется последовательным вычитанием констант из полученных остатков и суммированием этих констант к результатам, которые формируются по данному модулю. При этом константы на каждой итерации выбираются в зависимости от значения остатка в анализируемом разряде. При несомненном достоинстве метода сохраняются требования к быстродействию выполнения операции восстановления остатка числа.

Цель исследования. Целью исследования является аналитическое рассмотрение подхода к ускоренной реализации базовой операции восстановления остатка числа по данному модулю на основании остатков этого числа по остальным модулям системы.

Изложение основного материала. Базовый алгоритм состоит из следующих итераций. Значение восстанавливаемого остатка принимается $\alpha_n = 0$. На первой итерации по каждому из модулей $m_1 m_2 \dots m_{n-1}$ определяется разность между остатком по этому модулю и значением π_1 , взятая по данному модулю, в результате чего находится значение $\pi_2 m_1$. Назовем такие разности приведенными остатками. В то же время значение π_1 суммируется с α_n . На второй итерации по каждому из модулей $m_2 \dots m_{n-1}$ определяется разность между приведенным остатком по этому модулю и значением $\pi_2 m_1$, взятая по данному модулю. В результате находится значение $\pi_3 m_1 m_2$, а значение $\pi_2 m_1$ суммируется с полученным ранее значением остатка по модулю m_1 . После выполнения $(n-1)$ итераций получаем $(\tilde{\alpha}_1 = 0, \tilde{\alpha}_2 = 0, \dots, \tilde{\alpha}_n)$. Табличная реализация алгоритма заключается в задании на данной итерации значений позиционной характеристики π_i , $\pi_i = 0, 1, 2, \dots, m_i - 1$ и определении на их основе приведенных остатков $\tilde{\alpha}_i$ и констант Δ^i в соответствии с зависимостями $\Delta^i = \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1}$, $\tilde{\alpha}_i = (\Delta^i) \pmod{m_i}$, $\Delta_i^i = (\Delta^i) \pmod{m_i}$, $\Delta_{i+1}^i = (\Delta^i) \pmod{m_{i+1}}$, $\Delta_n = (\Delta^i) \pmod{m_n}$. Для каждого значения приведенного остатка константы получаются путем простой их выборки из соответствующей таблицы.

Для увеличения быстродействия ряда алгоритмов автором было введено представление чисел одновременно в прямом и обратном кодах с возможностью перехода в процессе работы алгоритма от одного представления к другому [5].

При задании числа N остатками число $\bar{N} = (\bar{\alpha}_1, \bar{\alpha}_2, \dots, \bar{\alpha}_n)$ является представлением числа $N = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ в обратном коде, где $\bar{\alpha}_i = (m_i - 1) - \alpha_i$ - обратный код остатка α_i . При задании числа N в полиадическом коде число

$$\bar{N} = \bar{\pi}_1 + \bar{\pi}_2 m_1 + \dots + \bar{\pi}_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \bar{\pi}_{n-1} m_1 m_2 \dots m_{n-2} + \bar{\pi}_n m_1 m_2 \dots m_{n-1}$$

является представлением числа

$$N = \pi_1 + \pi_2 m_1 + \dots + \pi_i m_1 m_2 \dots m_{i-1} + \dots + \pi_{n-1} m_1 m_2 \dots m_{n-2} + \pi_n m_1 m_2 \dots m_{n-1}$$

в обратном коде, где $\bar{\pi}_i = (m_i - 1) - \pi_i$ - обратный код позиционной характеристики π_i . Для рассмотрения работы алгоритма, например, в системе модулей $m_1 = 5, m_2 = 7, m_3 = 3, m_4 = 2, m_5 = 13$ необходимы представленные ниже таблицы констант табл.1, табл.2, табл.3, табл.4.

Таблица 1

Модули						
5			7	3	2	13
π_1	$\tilde{\alpha}_1$	Δ_5^1	Δ_7^1	Δ_3^1	Δ_2^1	Δ_{13}^1
0	0	0	0	0	0	0
		4	4	1	0	4
1	1	1	1	1	1	1
		3	3	0	1	3
2	2	2	2	2	0	2
		2	2	2	0	2
3	3	3	3	0	1	3
		1	1	1	1	1
4	4	4	4	1	0	4
		0	0	0	0	0

Таблица 2

Модули					
7			3	2	13
π_2	$\tilde{\alpha}_2 = \pi_2 m_1$	Δ_7^2	Δ_3^2	Δ_2^2	Δ_{13}^2
0	0	0	0	0	0
		6	2	0	7
1	5	5	2	1	5
		1	0	1	2
2	3	3	1	0	10
		3	1	0	10
3	1	1	0	1	2
		5	2	1	5
4	6	6	2	0	7
		0	0	0	0
5	4	4	1	1	12
		2	0	0	4
6	2	2	0	0	4
		4	1	1	12

Таблица 3

Модули				
3			2	13
π_3	$\tilde{\alpha}_3 = \pi_3 m_1 m_2$	Δ_3^3	Δ_2^3	Δ_{13}^3
0	0	0	0	0
		2	1	9
1	2	2	1	9
		0	0	0
2	1	1	0	5
		1	0	5

Таблица 4

Модули			
2			13
π_4	$\tilde{\alpha}_4 = \pi_4 m_1 m_2 m_3$	Δ_2^4	Δ_{13}^4
0	0	0	0
		1	1
1	1	1	1
		0	0

Таблица 5

Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
168	3	0	0	0	0
—	3	3	0	1	3
	0	4	0	1	3
—	=	4	1	1	12
	=	0	2	0	2
—	=	=	2	1	9
	=	=	0	1	11
—	=	=	=	1	1
	=	=	=	0	12

Таблица 6

Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
41	1	6	2	1	0
—	1	1	1	1	1
	0	5	1	0	1
—	=	5	2	1	5
	=	0	2	1	6
—	=	=	2	1	9
	=	=	0	0	2

В этих таблицах для каждого из модулей, представленных своими остатками по модулю соответствующей таблицы, верхняя строка – величина остатка в прямом коде, нижняя строка – в обратном коде.

Одной из реализаций алгоритма может быть одновременное его выполнение по базовому варианту, например, для числа $N=168$ и обратного ему числа $\bar{N} = (M-1) - N = 209 - 168 = 41$ согласно табл.5 и табл.6 для той же системы модулей $m_1=5, m_2=7, m_3=3, m_4=2, m_5=13$. При этом искомым остаток определяется по значению $\tilde{\alpha}_n$ того из чисел, для которого первым получен результат $(\tilde{\alpha}_1=0, \tilde{\alpha}_2=0, \dots, \tilde{\alpha}_n)$.

В рассмотренном примере вначале получено $(\tilde{\alpha}_1 = 0, \tilde{\alpha}_2 = 0, \dots, \tilde{\alpha}_n = 2)$.

Переход от остатка $\tilde{\alpha}_n = \tilde{\alpha}_{13}$ к остатку $\tilde{\alpha}_n = \tilde{\alpha}_{13}$ выполняется следующим образом. Пусть $\tilde{\alpha}_n^N = N \pmod{m_n}$ и $\tilde{\alpha}_n^N = ((M-1) - N) \pmod{m_n}$.

Тогда $\tilde{\alpha}_n^M \equiv (M-1) \pmod{m_n}$ и $\tilde{\alpha}_n^M \equiv (\tilde{\alpha}_n^N + \tilde{\alpha}_n^N) \pmod{m_n}$.

Остаток $\tilde{\alpha}_n^M \equiv (M-1) \pmod{m_n} = 209 \pmod{13} = 1$. Остаток $\tilde{\alpha}_{n+1}^N = 2$.

Следовательно, $\tilde{\alpha}_{n+1}^N = (1-2) \pmod{13} = 12$.

Табл.7, табл.8, табл.9 иллюстрируют варианты реализации алгоритма с переходами от представления числа в прямом коде (Блок А) к представлению этого числа в обратном коде (Блок Б) и от представления числа в обратном коде к его представлению в прямом коде.

При этом для Блока А $\tilde{\alpha}_{i,t} = (\tilde{\alpha}_{i,t-1} - \Delta^{i,t}) \pmod{m_i}$, $\tilde{\alpha}_{n,t} = (\tilde{\alpha}_{n,t-1} + \Delta^{n,t}) \pmod{m_i}$,
 $i = 1, 2, \dots, n-1, t = 1, 2, \dots, t-1$, $t = 1, 2, \dots, t-1$

Для блока Б $\tilde{\alpha}_{i,t} = (\tilde{\alpha}_{i,t-1} + \Delta^{i,t}) \pmod{m_i}$, $\tilde{\alpha}_{n,t} = (\tilde{\alpha}_{n,t-1} - \Delta^{n,t}) \pmod{m_i}$.
 $i = 1, 2, \dots, n-1, t = 1, 2, \dots, t-1$, $t = 1, 2, \dots, t-1$

Здесь t – количество итераций. В рассмотренном примере целесообразней реализация алгоритма при одновременном его выполнении по базовому варианту для прямого и обратного чисел.

Таблица 7

Блок А						Блок Б					
Модули						Модули					
Число	5	7	3	2	13	Число	5	7	3	2	13
Остатки						Остатки					
168	3	0	0	0	0	41	1	6	2	1	0
—	3	3	0	1	3						
	0	4	0	1	3						
	=	=	2	0	2		=	2	2	0	9
—			2	1	9		=	4	1	1	12
			0	1	11						
—				1	1						
				0	12						

Таблица 8

Блок А						Блок Б					
Модули						Модули					
Число	5	7	3	2	13	Число	5	7	3	2	13
Остатки						Остатки					
168	3	0	0	0	0	41	1	6	2	1	0
—	3	3	0	1	3						
	0	4	0	1	3		=	2	2	0	9
						—	=	4	1	1	12
							=	6	0	1	10
						—	=	=	2	1	9
			0	1	11			=	2	0	1
—				1	1						
					12						

Таблица 9

Блок А						Блок Б					
Модули						Модули					
Число	5	7	3	2	13	Число	5	7	3	2	13
Остатки						Остатки					
168	3	0	0	0	0	41	1	6	2	1	12
						—	3	3	0	1	3
	=	4	0	1	3		4	2	2	0	9
—		4	1	1	12						
		0	2	0	2		=	=	0	1	10
						—			2	1	9
				1	11				2	0	1
—				1	1						
					12						

В рассмотренном табл.10 и табл.11 примере вначале получено $(\tilde{\alpha}_1 = 0, \tilde{\alpha}_2 = 0, \dots, \tilde{\alpha}_n = 8)$.

Таблица 10

Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
8	3	1	2	0	0
–	3	3	0	1	3
	0	5	2	1	3
–	=	5	2	1	5
	=	0	0	0	8

Таблица 11

Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
201	1	5	0	1	0
–	1	1	1	1	1
	0	4	2	0	1
–	=	4	1	1	12
	=	0	1	1	0
–	=	=	1	0	5
	=	=	0	1	5
–	=	=	=	1	1
	=	=	=	0	6

Табл.12, табл.13 иллюстрируют варианты реализации алгоритма с переходами от представления числа в прямом коде (Блок А) к представлению этого числа в обратном коде (Блок Б) и от представления числа в обратном коде к его представлению в прямом коде.

Таблица 12

Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
8	3	1	2	0	0
–	3	3	0	1	3
	0	5	2	1	3
	=	=	0	0	8

→

←

Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
201	1	5	0	1	0
	=	1	0	0	9
–	=	5	2	1	5
	=	6	2	1	4

Таблиця 13

Блок А					
Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
8	3	1	2	0	0
	=	5	2	1	3
—		5	2	1	5
		0	0	0	8

→

←

Блок Б					
Модули					
Число	5	7	3	2	13
	Остатки				
201	1	5	0	1	12
—	3	3	0	1	3
	4	1	0	0	9

В рассмотренном примере целесообразна реализация алгоритма как при одновременном его выполнении по базовому варианту для прямого и обратного чисел, так и с переходами от представления числа в прямом коде к представлению этого числа в обратном коде и от представления числа в обратном коде к его представлению в прямом коде.

Выводы. Рассмотрен алгоритм реализации в системе остаточных классов базовой немодульной операции восстановления значения остатка числа по данному модулю на основании значений остатков этого числа по остальным модулям системы. Показано, что проанализированный метод обеспечивает получение искомого результата. На основе предложенных подходов достигается ускоренная реализация базовой операции восстановления остатка числа по данному модулю. Представляется целесообразным применить предложенные подходы в качестве перспективных направлений исследований этой операции в системе остаточных классов.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. - М.: Советское радио, 1968. 440 с.
2. Поліський Ю.Д. Про один метод розширення діапазону зображення чисел у системі залишкових класів. Математичне моделювання. Кам'янське. 2007. №2(17). С. 16–17.

3. Полисский Ю.Д. Табличная реализация базового алгоритма для выполнения сложных операций в системе остаточных классов. Проблемы математического моделирования: материалы наук.-метод.конф. 19-21 трав.2010 р. Кам'янське. 2010. С. 196–199.
4. Полисский Ю.Д. Об ускоренном выполнении сложных операций в модулярных вычислительных структурах. Моделирование-2010, SIMULATION-2010: материалы междунар.науч.конф. 21-23 мая 2010г. Киев 2010. Т.3. С.32-39.
5. Полисский Ю.Д. Алгоритм выполнения сложных операций в системе остаточных классов с помощью представления чисел в обратных кодах. Электронное моделирование. Киев. 2014. №4 Т. 36. С. 117–123

REFERENCES

1. Akushskiy I.Ya., Yudickiy D.I. Machine arithmetic in the residual classes. - M.: Sov. Radio, 1968. 440 p.
2. Polissky Yu.D. About one method of extending the range of the image of numbers in a system of residual classes Mathematical modeling. Kamianske. 2007. №2 (17). pp. 16–17.
3. Polissky Yu.D. A table implementation of the basic algorithm for performing complex operations in a system of residual classes. Problems of mathematical modeling: materials of sciences.-method.konf. 19-21 May. 2010. Kam'yanske. 2010. pp. 196–199.
4. Polissky Yu.D. On the accelerated implementation of complex operations in modular computing structures. Modeling-2010, SIMULATION-2010: materials of the international scientific conference. May 21-23, 2010. Kiev 2010.V.3. pp.2-39.
5. Polissky Yu.D. An algorithm for performing complex operations in a system of residual classes using the representation of numbers in reverse codes. Electronic modeling. Kiev. 2014. No4 V.36. pp .117–123.

Received 02.03.2020.

Accepted 04.03.2020.

Об одном алгоритмическом решении задачи восстановления остатка числа в системе остаточных классов

Рассматривается определение остатка по данному модулю на основании остатков по остальным модулям системы. Определение выполняется последовательным вычитанием (добавлением) констант из полученных остатков и суммированием (вычитанием) этих констант к результатам, которые формируются по данному модулю. Константы на каждой итерации выбираются в зависимости от значения остатка в анализируемом разряде. Приведены варианты реализации алгоритма с переходами от представле-

ния числа в прямом коде к представлению этого числа в обратном коде и от представления числа в обратном коде к его представлению в прямом коде.

***On one algorithmic solution of the problem of restoring the number remaining
in the residual class system***

While performing operations expand the range of representations of numbers dividing, determining overflow, scaling, error correction calculations, there arises a problem of recovery of the remainder of the number on the module on the basis of the balance of this number for other modules of the system. Table recovery operation of the remainder of the number is implemented using the basic algorithm. Solution method based on the definition of residue on the module based on the balances on the remaining modules of the system. This definition of successive subtraction of constants from the obtained residue, and the aggregation of these constants to rezultes, which are formed on the module. At the same constant on each iteration are selected depending on the value of the residue in the analyzed discharge. The undoubted advantage of the stored requirements for the performance of the recovery operation, the remainder of the number. The aim of the study is an analytical review of the approach to accelerated implementation of the basic operations of recovery of the remainder of the number on the module on the basis of the balance of this number for other modules of the system. One implementation of the algorithm is its simultaneous implementation in the baseline for the desired number and number reverse search. This desired balance is determined by the value of the balance of the numbers for which the first result is a search result. Given the options the implementation of the algorithm with the transitions from the representation of a number to direct the code to the representation of that number in the reverse code and the representation of a number in the code back to its performance in direct code. The algorithm is implemented in the system of residual classes in the base the estimation of the recovery operation, the values of the balance number on the module based on the values of the residues that number for the rest of the system modules provides obtaining the desired result. Based on the proposed approaches is achieved by accelerating the implementation of the basic operations of recovery of the remainder of the number for this module. It seems appropriate to apply the proposed approaches as a promising research areas of this operation in the system of residual classes.

Полиський Юрій Давидович - старший научний співробітник, Науково-дослідницький інститут автоматизації чорної металургії, г.Днепр.

Поліський Юрій Давидович - старший науковий співробітник, Науково-дослідний інститут автоматизації чорної металургії, м.Дніпро.

Polissky Yuri - Older Researcher, Scientific Research Institute of Automation of Ferrous Metallurgy, Dnepr.

К.Ю. Островська, Р.В. Бедай

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕТОДІВ НОРМАЛІЗАЦІЇ ОБ'ЄМНИХ ДАНИХ

Анотація. Робота присвячена дослідженню продуктивності методів нормалізації об'ємних даних. Робота відноситься до області обробки поста експериментальних і статистичних даних, яка полягає в перетворенні вхідного набору даних в вихідний в конкретному інтервалі (нормалізація).

В рамках роботи було досліджено актуальні на сьогоднішній день методи нормалізації з метою їх застосування для нормалізації числових даних зі збереженням співвідношення. Була розроблена бібліотека, реалізує підійшли під цей критерій методи, що дозволяє нормалізувати і візуалізувати вихідні дані.

Ключові слова: нормалізація, методи, бенчмарк, лаунчер, дамп, обробка даних, продуктивність, об'ємні дані.

Вступ. Нормалізація даних в даний час широко використовується в різних областях науки і техніки, а не тільки в середовищі інформаційних технологій.

Проблеми:

- нормалізація об'ємних даних. Це потенційно проміжний стан між простими даними і Big Data. У цьому випадку вже необхідно враховувати обсяг, але все ще не потрібно використовувати Machine Learning-рішення.

- відсутність спеціалізованої бібліотеки.

Також проблема актуальна для областей науки і техніки, де застосовується статистика на основі часу. Наприклад, існує зібрана статистика роботи якогось додатка в мілісекундах за різні періоди.

Для розуміння залежностей в роботі такого додатка буде необхідно нормалізувати статистику в один відрізок, щоб можна було робити точні висновки.

Для вирішення такого роду завдань і будуть розглядатися зазначені питання в рамках даної роботи.

Постановка задачі. Для дослідження продуктивності методів нормалізації необхідно провести теоретичний аналіз існуючих алгоритмів. Для і тому необхідні теоретичну оцінку складності $O(N)$, де N - кількість сутностей в наборі даних. Також необхідно провести оцінку.

Залежно алгоритмічної складності від m - довжини (об'ємності) полів даних. Таким чином завдання вимагає теоретичної оцінки складності по двом параметрам $O(m, N)$.

Далі потрібно буде виконати програмну реалізацію методів нормалізації з візуалізацією для наочного представлення результатів нормалізації до і після роботи алгоритму.

Після реалізації необхідно буде провести експериментальне порівняння і оцінити, наскільки теоретичні дані підтверджуються експериментальними.

Результатом роботи буде бібліотека, за допомогою якого користувач зможе виконувати нормалізацію даних і візуально оцінювати результати роботи за графіками. Користувачеві для цього буде доступний публічний інтерфейс. Основними програмними компонентами є наступні модулі:

- модуль, який відповідає за безпосередньо нормалізацію;
- модуль, який відповідає за візуалізацію;
- допоміжний модуль з бенчмарками для оцінки продуктивності того чи іншого алгоритму;

Кінцевому користувачеві в бібліотеці будуть доступні всі три модулі.

Бібліотека, яка буде отримана на виході, є універсальною.

Тобто її можна використовувати не тільки в рамках тих прикладів, що наводяться в рамках даної роботи, а й в будь-якому іншому випадку, коли потрібно нормалізувати дані, починаючи від використання в курсових роботах студентами технічних факультетів і закінчуючи лабораторними дослідженнями і додатків, що працюють зі статистикою.

Методи нормалізації даних.

1. Мінімаксний метод є найпростішим і популярним методом нормалізації. Він входить до групи статистичних методів нормалізації.

Для розрахунку потрібно знати тільки мінімальне і максимальне значення нормалізуємих ряду значень.

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

де x' - нормалізоване поточне значення,

x - поточне ненормалізоване значення

x_{\min} - мінімальне значення в ненормалізованому числовому ряду, MAX

x_{\max} - максимальне значення в ненормалізованому числовому ряду.

Так як даний метод є лінійно перетворює, він потенційно підходить для вирішення поставленого завдання.

2. Метод нормалізації за середнім, належить до групи статистичних методів нормалізації.

Крім мінімального і максимального значення ненормалізованих числового ряду, тут потрібно знати і середнє значення по даному ряду.

$$x_{\text{avg}} = \frac{\sum_{n=1}^N x_n}{N}, \quad (2)$$

де N - кількість значень в числовому ряду.

Метод нормалізації за середнім представлений формулою (3).

$$x' = \frac{x - x_{\text{avg}}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

де x' - нормалізоване поточне значення,

x - поточне ненормалізоване значення,

x_{avg} - середнє значення числового ненормалізованого ряду,

x_{\min} - мінімальне значення в ненормалізованому числовому ряді,

x_{\max} - максимальне значення в ненормалізованому числовому ряді.

3. Нормалізація стандартним відхиленням. Для обчислення використовуються статистичні характеристики, такі як середнє і стандартне відхилення (формула 4).

$$x' = \frac{x - x_{avg}}{\sigma_x} \quad (4)$$

де x' - нормалізоване поточне значення,

x - поточне ненормалізоване значення,

x_{avg} - середнє значення числового ненормалізованих ряду,

σ_x - стандартне відхилення ряду.

Стандартне відхилення обчислюється за формулою 5.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{avg})^2}{n}}, \quad (5)$$

де x_n - n -й елемент числового ряду,

x_{avg} - середнє значення числового ненормалізованих ряду,

n - число елементів в ряду.

Для поставленого завдання будемо вважати його придатним.

В якості алгоритму сортування списків зі значеннями полів будемо використовувати сортування злиттям.

Загальна структура проекту наведена на UML-діаграмі, зображеної на рисунку 1.

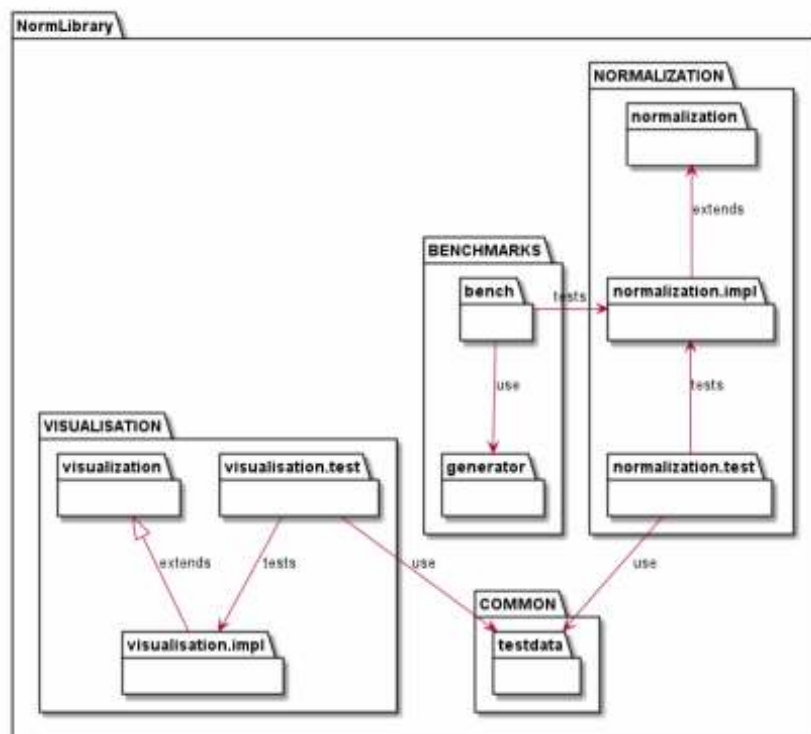


Рисунок 1 - Структура проекту бібліотеки

Умовним "ядром" бібліотеки є пакет `normalization.impl` - саме всередині нього реалізовані в явному вигляді методи нормалізації. Цей пакет базується на пакеті `normalization`, що містить в собі відповідний інтерфейс.

Повна UML-діаграма модуля `normalization` приведена на рисунку 2.

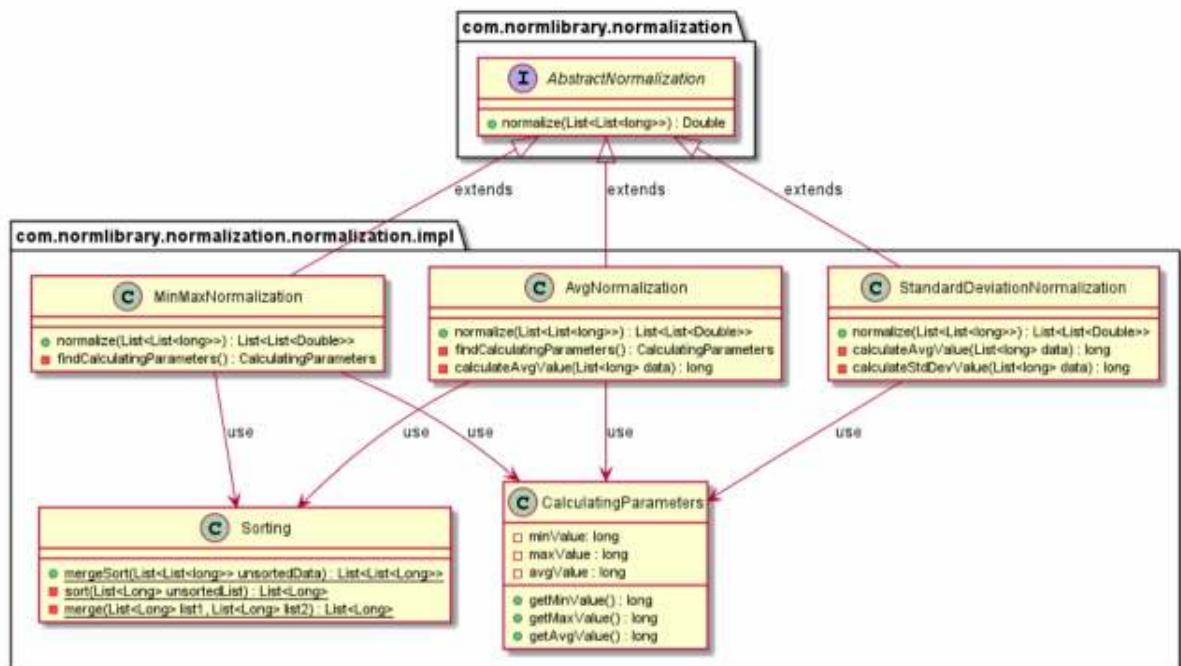


Рисунок 2 - Повна UML-діаграма модуля `normalization`

Допоміжним комплексом в бібліотеці є пакет `benchmarks`.

Даний пакет містить класи реалізує еталонні тести продуктивності (бенчмарки). Він необхідний для того, щоб перевірити на практиці твердження, зроблені в кінці розділу. Для перевірки використовується пакет `generator` в якому генеруються вихідні дані для тестування - масив масивів типу `long`, виходячи з поставлених вручну параметрів: кількість ознак (полів) і довжина набору, загальна для всіх ознак.

Оцінка продуктивності. Для оцінки продуктивності методів нормалізації будуть виконуватися бенчмарки для декількох дампов даних.

Дампи покриватимуть інтервал від 1 до 10 Гб, щоб виконати тестування навантаження на всьому інтервалі, на якому визначено поняття об'ємних даних. Виходячи з цього дампов буде 5, і вони будуть мати наступні розміри: 1,1 Гб, 2,3 Гб, 4,5 Гб, 6,4Гб, 9,1 Гб. Зняття бенчмарков реалізовано за допомогою фреймворка JMH.

Дампи генерувалися методом `generateTestVolumeData` класу `DataGenerator`. Метод приймає в якості параметрів кількість списків і кількість елементів в цих списках, а потім повертає згенеровані дані у вигляді списку списків типу `Long`.

В рамках підготовки бенчмарков в класі `AbstractNormalizationBenchmark` кількість елементів в списках було вибрано фіксованим в 750 тисяч елементів для зручності перемикання між дампами в процесі тестування, а змінним параметрів стало кількість списків, яке визначалося через клас-спадкоємець `NormalizationState`.

Розрахунок необхідної кількості списків виконувався виходячи з моделі даних в Java. Тип `Long` в даному випадку - це не примітивний тип, а тип класу- обгортки, тобто об'єкт. Тому він буде займати в пам'яті стандартні 64 біта для типу `long` (примітивного) плюс ще 32 біта, так як в даному випадку ми оперуємо посилальним типом і ці 4 байта займе безпосередньо посилання.

Далі на основі обсягу одного поля типу `Long`, кількості елементів і необхідного обсягу даних обчислювалося кількість списків для тестування.

Для кожного дампа даних отримаємо довірчий інтервал.

Довірчий рівень а обраний 99%. Для цього для кожного дампа по вимірювальним ітераціям розрахуємо похибку.

$$Z_{a/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (6)$$

де $Z_{a/2}$ - оцінка на основі коефіцієнта довіри,

$a/2$ - коефіцієнт довіри,

σ - стандартне відхилення.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{avg})^2}{n}}, \quad (7)$$

де x_n - n -й елемент числового ряду,

x_{avg} - середнє значення числового ряду,

n - число елементів в ряду.

Виходячи з довірчого рівня, отримуємо довірчий коефіцієнт 0,495.

Йому відповідає Z-оцінка 2,58.

Результати обчислень за всіма дампи зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Довірчий інтервал для всіх методів по дампи

	Дамп, Гб									
	1,1		2,3		4,3		6,4		9,1	
	\bar{t}	$\pm\Delta$	\bar{t}	$\pm\Delta$	\bar{t}	$\pm\Delta$	\bar{t}	$\pm\Delta$	\bar{t}	$\pm\Delta$
MM	11	0,3	23	10	60	10	69	36	110	38
A	11	0,3	25	10	58	12	81	32	106	40
SD	0,58	0,1	2	1,1	12	3	20	7	19	21

Розраховані значення з таблиці 10 відображені в графічному вигляді на рисунку 3.

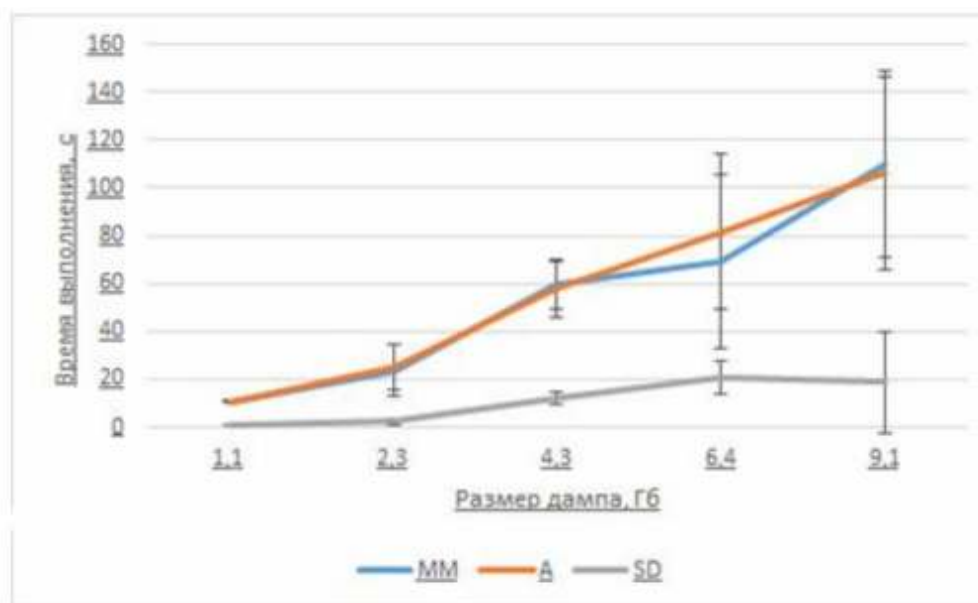


Рисунок 3 - Графічне представлення результатів виконання бенчмарків

Як видно з рисунка 3, теоретичний висновок, підтвердився практикою: метод нормалізації стандартним відхиленням менше складний. А значить і більш продуктивний, ніж мінімаксний метод або метод нормалізації за середнім. Це обумовлюється в першу чергу відсутністю необхідності сортувати дані, щоб отримати мінімальну і максимальне значення. В рамках планування розробки цей момент враховувався і отримання цих значень замість $O(N)$ займає $O(N \cdot \log N)$ часу. Але, незважаючи на це, метод нормалізації середньоквадратичним відхиленням показав себе в рази краще.

Отримані результати. Результати проведеного тестування навантаження підтверджують теоретичні викладки: метод нормалізації стандартним відхиленням має менший порядок складності, а, отже, більш високу продуктивність, ніж мінімаксний метод і метод нормалізації за середнім. Два останніх методу відповідно до теоретичними викладками мають однакову алгоритмічну складність, а на практиці мінімаксний метод показує трохи більше зростання складності з збільшенням обсягу даних.

Метод нормалізації стандартним відхиленням виграє по більшій частини за рахунок відсутності сортування, незважаючи на те, що сортування була введена для зменшення складності алгоритму.

Висновки. В рамках роботи був виконаний аналіз виду даних, сформовано його визначення. Для певного типу даних був зроблений відбір відповідних алгоритмів нормалізації, проведений їх аналіз і реалізація у вигляді бібліотеки. На готовій бібліотеці було проведено тестування навантаження з метою визначення найкращого методу нормалізації для певного типу даних.

Відібрані для реалізації методи нормалізації виправдали себе з точки зору постановки завдання: нормалізація виконується коректно.

Складність реалізованих алгоритмів також задовольняє поставленим вимогам. Відповідність поставленому завданню і вимогам підтверджено експериментальними даними.

Реалізована бібліотека показала себе ефективною, легковажною і зручною у використанні: цим були досягнуті поставлені в роботі мети.

Бібліотека відповідає заявленому функціоналу. Подальший план по реалізації бібліотеки: вивантаження в публічний репозиторій, підтримка, розширення, написання документації.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Майер-Шенбергер В. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живём, работаем и мыслим / Майер-Шенбергер В., Кукьер К. — М.: Манн, Иванов, Фербер, 2014. — 240 с.
2. Стивенс Р. Алгоритмы. Теория и практическое применение. — Москва: Издательство «Э», 2016. — 544 с.
3. Kreyszig E. Advanced Engineering Mathematics. — Wiley, 1979. — 880 с.
4. William H. Greene Econometric analysis. - New York: Pearson Education, Inc., 2003. - 1026 с.
5. Бенчмарки [Електронний документ].
(https://wikipedia.org/wiki/Тест_производительности).
6. Дисперсія, стандартне відхилення і коефіцієнт варіації [Електронний документ]. - (<https://statanaliz.info/metody/opisanie-dannyx/11-dispersiya-standartnoe-otklonenie-koeffitsient-variatsii>).
7. Огляд методів попередньої обробки даних [Електронний документ]. - (http://www.math.spbu.ua/SD_AIS/documents/2019-12-341/2019-12-b-17.pdf).
8. Обробка об'ємних даних, Gwyddion [Електронний документ]. - (<http://gwyddion.net/documentation/user-guide-ua/volume-data-processing.html>).
9. Об'ємні дані [Електронний документ]. - (<http://www.teamnet.ua/gruppa-teamnet/issledovanie-i-razrobotka/opros-mnenij-obemnye-dannye/>).

REFERENCES

1. Mayer-Shenberger V. Bolshie dannye. Revolyutsiya, kotoraya izmenit to, kak myi zhivYom, rabotaem i myislim / Mayer-Shenberger V., Kuker K. — M.: Mann, Ivanov, Ferber, 2014. — 240 s.
2. Stivens R. Algoritmyi. Teoriya i prakticheskoe primeneniye. — Moskva: Izdatelstvo «E», 2016. — 544 s.
3. Kreyszig E. Advanced Engineering Mathematics. — Wiley, 1979. — 880 s.
4. William H. Greene Econometric analysis. - New York: Pearson Education, Inc., 2003. - 1026 s.
5. Benchmarki [Elektronniy dokument].

(https://wikipedia.org/wiki/Test_proizvoditelnosti).

6. Dispersiya, standartne vldhilennya I koefitsient variatsiyi [Elektronniy dokument]. - (<https://statanaliz.info/metody/opisanie-dannyx/11-dispersiya-standartnoe-otklonenie-koeffitsient-variatsii>).

7. Oglyad metodiv poperednoyi obrobki danih [Elektronniy dokument]. - (http://www.math.spbu.ua/SD_AIS/documents/2019-12-341/2019-12-b-17.pdf).

8. Obrobka ob'Emnih danih, Gwyddion [Elektronniy dokument]. - (<http://gwyddion.net/documentation/user-guide-ua/volume-data-processing.html>).

9. Ob'Emni dani [Elektronniy dokument]. - (<http://www.teamnet.ua/gruppa-teamnet/issledovanie-i-razrobotka/opros-mnenij-obemnye-dannye/>).

Received 03.03.2020.

Accepted 04.03.2020.

Исследование производительности методов нормализации объемных данных

Работа посвящена исследованию производительности методов нормализации объемных данных

Работа относится к области постобработки экспериментальных и статистических данных, заключается в преобразовании входного набора данных в выходной в конкретном интервале (нормализация).

В рамках работы были исследованы актуальные на сегодняшний день методы нормализации с целью их применения для нормализации числовых данных с сохранением соотношения. Была разработана библиотека реализует подошли этому критерию методы, позволяет нормализовать и визуализировать выходные данные.

Performance study of volume normalization methods

Data normalization is currently widely used in various fields of science and technology, and not only in the information technology environment. Medicine, geodesy, radio engineering, soil science and many other fields of knowledge use data normalization for more convenient presentation of data and their subsequent analysis.

But, as in any area, there are problems. One of these problems is the normalization of voluminous data. This is a potentially intermediate state between simple data and Big Data. In this case, it is already necessary to take into account the volume, but there is still no need to use Machine Learning solutions. An additional question is the problem of normalizing data types implemented according to the rules / in the context of OOP: object fields can also be voluminous.

The second problem that goes hand in hand with any issue related to normalization is the lack of a specialized library.

The problem of normalizing this type of data may be encountered, for example, in the field of medicine, when the results of laboratory tests need to be normalized to what area is

convenient for research and / or practical application, and there is a lot of data and they are large numerical values.

Also, the problem is relevant for areas of science and technology, where time-based statistics are applied. For example, there are collected statistics on the operation of an application in milliseconds for various periods.

To understand the dependencies in the operation of such an application, it will be necessary to normalize the statistics in one segment so that accurate conclusions can be drawn.

To solve such problems, the above issues will be considered in the framework of this work.

The work is devoted to the study of the performance of volume normalization methods.

The work relates to the field of post-processing of experimental and statistical data, consists in converting the input data set to the output in a specific interval (normalization).

In the framework of the work, current normalization methods were studied with the aim of their application to normalize numerical data while maintaining the ratio. A library has been developed that implements methods that meet this criterion, allows you to normalize and visualize the output.

Островская Екатерина Юрьевна - к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Бедай Роман Вадимович - магистр кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Островська Катерина Юріївна – к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Бедай Роман Вадимович - магістр кафедри Інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Ostrovskaya Kateryna - candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Information Technology and System, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Beday Roman - Master of the Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

ЗМІСТ

CONTENTS

Стьопкін В.В., Кажан В.Є., Дем'янов Р.В., Гродецький В.Р.		Stopkin V., Kazhan V, Demyanov R., Grodetsky V.	
Задача модального керування двомасової електромеханічної системи	3	The task of modal control of a two-mass electromechanical system	3
Вдовиченко І.Н.		Vdovychenko I.N.	
Формування груп для викори- стання методу взаємного навчання	13	Formation of groups for use of a method of mutual training	13
Рудик О.Ю., Диха О.В.		Rudyk O.Yu., Dykha O.V.	
SolidWorks як інноваційний засіб вивчення дисциплін автомобільного профілю	21	SolidWorks as an innovative tool for studying the disciplines of automobile profile	21
Швачич Г.Г., Коноваленков В.С., Іващенко О.В., Сушко Л.Ф.		Shvachych G.G., Konovalenkov V.S., Ivaschenko O.V., Sushko L.F.	
Розробка паралельних струк- тур диференціальних задач математичної фізики	36	Development of parallel struc- tures of differential tasks of mathematical physics	36
Царик В.Ю., Гнатушенко Вікт.В.		Tsaryk V., Hnatushenko Vikt.	
Дослідження методів вилучен- ня вокалу у зміксованих записах	46	Investigation of methods of vo- cal extraction in mixed records	46
Соколова Н.О.		Sokolova N.	
Інформаційна технологія автоматизованого розпізнавання будівель	57	The information technology for automated recognition building	57
Бахрушин В.Е.		Bakhrushin V.E.	
Зачисление абитуриентов в учреждения высшего образо- вания, как задача многокрите- риального принятия решений в условиях неопределенности	68	Admission of applicants to higher education institutions as a problem of multi-criteria deci- sion making under uncertainty	68

Бразалук Ю.В., Губін О.І., Давидова А.В., Дерій В.С., Євдокимов Д.В., Мала Ю.А. Математичне моделювання балонних систем зберігання та регулювання витрати газу	80	Brazaluk Iu.V., Gubin O.I., Davydova A.V., Deriy V.S., Yevdokymov D.V., Mala Yu.A. Mathematical modeling of bal- loon systems for storage and rate control of gas	80
Дерев'янюк О.І. Хаотичні коливання у RLD ланцюгах	95	Derevyanko A.I. Chaotic oscillations in RLD cir- cuits	95
Форись С.Н., Федоров С.С., Перерва В.Я., Усенко А.Ю. Моделирование рабочих ре- жимов с целью повышения эффективности шахтной из- вестково-обжиговой печи	102	Foris S.M., Fedorov S.S., Pererva V.Y., Usenko A.Y. Simulation operating modes for enhancing the efficiency of a shaft limestone kiln	102
Кириченко Л.О., Булах В.А., Тавалбех М.Ф., Зинченко П.П. Информационная технология классификации фрактальных временных рядов	115	Kirichenko L., Bulakh V., Tawalbeh M., Zinchenko P. Information technology of classification of fractal time se- ries	115
Скалозуб В.В., Білий Б.Б., Галабут О.О., Мурашов О.В. Методи інтелектуального мо- делювання процесів з перемінним інтервалом спо- стережень та конструктивного упорядкування «з вагою»	127	Skalozub V.V., Bilyy B.B., Galabut O.O., Murashov O.V. Methods of intelligent modeling of processes with a variable observation interval and con- structive ordering “with weight”	127
Баклан І.В., Очеретяний О.К., Григорович В.В. Система аналізу ритмів електрокардіограм та вияв- лення аномалій	144	Baklan I.V., Ocheretianyi O.K., Grigorovich V.V. Analysis system of elec- trocardiography rhythms and anomaly detection	144
Полисский Ю.Д. Об одном алгоритмическом решении задачи восстано- вления остатка числа в системе остаточных классов	154	Polissky Yu.D. On one algorithmic solution of the problem of restoring the number remaining in the residual class system	154

Островська К.Ю., Бедай Р.В.
Дослідження продуктивності
методів нормалізації об'ємних
даних

165

Ostrovska K.Yu., Beday R.V.
The study of the performance of
normalization methods of
volumetric data

165

РЕФЕРАТИ

УДК 65.011.56

Стьопкін В.В., Кажан В.Є., Дем'янов Р.В., Гродецький В.Р. **Задача модального керування двомасової електромеханічної системи** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 3 - 12.

Розглядається математична модель електромеханічної системи четвертого порядку при врахуванні доступності вимірів усіх змінних стану. Виконується розрахунок значень полюсів системи з модальним регулятором, отримані та досліджені графіки перехідних процесів для стандартних форм полінома Баттерворта та полінома Ньютона для четвертого порядку системи. Досліджуються перехідні процеси при використанні для налагодження модального регулятора полінома Ньютона та полінома Баттерворта для системи четвертого порядку, з рекомендаціями щодо подальшого використання в системі полінома Баттерворта, який дає меншу статичну помилку.

Бібл.5, іл.4

УДК 681.03

Вдовиченко І.Н. **Формування груп для використання методу взаємного навчання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 13 - 20.

Представлено метод взаємного навчання. Обґрунтовано доцільність його впровадження. Відмічено, що способу формування групи студентів для методу взаємного навчання приділяється мало уваги. Розглянуто характерні показники, які впливають на формування груп. В роботі представлені результати експерименту по формуванню схем взаємодії студентів в бригадах взаємонавчання. Для правильного підбору студентів в групи запропоновано використовувати соціометричний метод.

Бібл. 3, іл. 3, табл. 1.

УДК 378.14:629.331

Рудик О.Ю., Диха О.В. **SolidWorks як інноваційний засіб вивчення дисциплін автомобільного профілю** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 21 - 35.

Запропонована методика використання SolidWorks як засобу навчання технічних дисциплін автомобільного профілю: твердотільне 3D проектування й моделювання вузлів і деталей автомобільної техніки та пристосувань на перших курсах навчання; міцнісні, стійкісні, втомні та інші інженерні розрахунки цих вузлів і деталей – на наступних (SolidWorks-додатки). У SolidWorks створюються ескізи деталей автомобільної техніки, проводиться їх складання з наступним формуванням креслень і тривимірних моделей. У SolidWorks Simulation здійснюються розрахунки цих деталей. При цьому запропонована методика передбачає поетапне засвоєння нового матеріалу, його повторення та закріплення, застосування на практиці.

Бібл. 24, іл. 6.

УДК 004.272.43.003.13

Швачич Г.Г., Коноваленков В.С., Іващенко О.В., Сушко Л.Ф. **Розробка паралельних структур диференціальних задач математичної фізики** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 36 - 45.

Робота присвячена конструюванню паралельних форм математичних моделей трьохдіагональної структури. У цій роботі розглядається два способи дискретизації диференціальних задач на прикладі розв'язування рівняння математичної фізики. При цьому застосування числово-аналітичного методу прямих і методів прогону до розпаралелювання математичних моделей, що мають трьохдіагональну структуру, дозволяють конструювати її точні повузлові рішення, що мають максимальну паралельну форму та мінімальний можливий час реалізації на паралельних обчислювальних пристроях. Запропонований підхід при розробці методів, алгоритмів і програмних засобів може бути використаний в різних галузях металургійної теплофізики, економіки, а також задачах екології металургійної промисловості.

Бібл. 13.

УДК 004.4'277.2

Царик В.Ю., Гнатушенко Вікт.В. **Дослідження методів вилучення вокалу у зміксованих записах** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 46 - 56.

Розглянуто існуючі методи ізоляції вокалу з зміксованого запису: метод частотної фільтрації, метод фазового віднімання та методи на основі систем штучного інтелекту. Проведено порівняльний аналіз роботи існуючих програмних засобів для вирішення даної задачі – Spleeter та iZotope RX7. Зроблено висновки про недостатню ефективність існуючих методів ізоляції вокалу.

Бібл. 5, табл. 1.

УДК 004.932.72'1

Соколова Н.О. **Інформаційна технологія автоматизованого розпізнавання будівель** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 57 - 67.

Дана робота присвячена опису розробленої інформаційної технології для задач розпізнавання будівель на знімках дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності та верифікації результатів розпізнавання. Проаналізовані сучасні підходи до розпізнавання будівель. Запропонована технологія заснована на аналізі гістограм та сегментації в просторі ознак. Для верифікації результатів розпізнавання розроблені методики на основі геометричного аналізу, тіньового аналізу та використання метаданих. Результатом роботи є векторний файл, який містить розпізнані багатокутні об'єкти.

Бібл. 10.

УДК 378.3:519.816

Бахрушин В.Е. **Зачисление абитуриентов в учреждения высшего образования, как задача многокритериального принятия решений в условиях неопределенности** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 68 - 79.

Проанализированы некоторые проблемы распределения мест государственного заказа по алгоритму Гейла - Шепли. Опыт приемных кампаний 2016 – 2019 гг. показывает, что условия применимости этого алгоритма в реальных условиях Украины выполняются не полностью. В частности, существует ряд факторов неопределенности, которые могут приводить к потере свойств оптимальности и эффективности результатов распределения.

Библ. 19, ил. 1.

УДК 519.6

Бразалук Ю.В., Губін О.І., Давидова А.В., Дерій В.С., Євдокимов Д.В., Мала Ю.А. **Математичне моделювання балонних систем зберігання та регулювання витрати газу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 80 - 94.

В роботі розглянуті процеси витікання газу скрізь пористу вставку з балона високого тиску, який використовується для газопостачання космічного літального апарату в тривалому польоті. Для опису процесу фільтрації була використана математична модель ізотермічної фільтрації газу. Застосування асимптотичного підходу дозволило звести опис процесу фільтрації до крайової задачі для звичайного диференціального рівняння другого порядку, яку вдалося розв'язати аналітично. Показано, що в якості керуючих параметрів процесу витікання газу через пористу вставку з балона високого тиску можна використовувати температуру газу всередині балона або тиск газу на виході пористої вставки. Результати роботи можуть бути рекомендовані для використання в ракетно-космічній техніці та інших областях, пов'язаних зі зберіганням стисненого газу.

Бібл. 13, іл. 1.

УДК 519.6

Дерев'янко О.І. **Хаотичні коливання у RLD ланцюгах** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 95 - 101.

Розглянута модель RLD ланцюгів у середовищі Multisim та показано, що незалежна зміна амплітуди U та частоти ω формує петлю гістерезису $\max(U_d)$ для хаотичних коливань на інтервалі значень U та ω . На основі розглянутої комп'ютерної моделі отримана можливість прогнозувати точки біфуркації петлі гістерезису для визначення критичних режимів елементів електронних схем.

Бібл. 2, іл. 6.

УДК 51-74:669.162-669.181.4

Форись С.Н., Федоров С.С., Перерва В.Я., Усенко А.Ю. **Моделирование рабочих режимов с целью повышения эффективности шахтной известково-обжиговой печи** //

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 102 - 114.

Разработана и реализована на ЭВМ математическая модель шахтной противоточной известково-обжиговой печи с центральным и периферийным подводом природного газа. В модели учтены движение газов в плотном слое кускового материала, конвективный и диффузионный перенос вещества, горение топлива, внешний и внутренний теплообмен.

Разработаны энергоэффективные режимы работы шахтной противоточной известково-обжиговой печи, обеспечивающие снижение удельного расхода природного газа на 20-25 % при заданных значениях качества готового продукта и производительности агрегата. Разработаны режимы отопления шахтной противоточной известково-обжиговой печи смесью природного и доменного газов. Ожидаемая экономия природного газа при этом составляет около 30 %.

Библ.9, ил.2.

УДК 519.2:004.9

Кириченко Л.О., Булах В.А., Тавалбех М.Ф., Зинченко П.П. **Информационная технология классификации фрактальных временных рядов** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 115 - 126.

Предложена информационная технология классификации фрактальных временных рядов на основе методов машинного обучения. Выбор метода классификации и соответствующего набора признаков основывается на мультифрактальных и самоподобных свойствах временных рядов. Используя предложенную технологию, рассмотрен пример бинарной классификации временных рядов.

Библ.15, табл.2 .

УДК 004.6: 007.5: 004.94

Скалозуб В.В., Білий Б.Б., Галабут О.О., Мурашов О.В. **Методи інтелектуального моделювання процесів з перемінним інтервалом спостережень та конструктивного упорядкування «з вагою»** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 127 - 143.

Запропоновані нові змістовні та формальні постановки завдань щодо процедур упорядкування послідовностей елементів, які відрізняються від відомих тим, що в них ураховується різна складності (вага) окремих операцій. Для реалізації процедур упорядкування з «вагою» були сформовані метрики для порівняння станів процесів формування, а також побудовані інтелектуальні продукційні алгоритми реалізації завдань упорядкування «з вагою». Результати моделювання названих процесів були отримані на основі розробленого нами програмного комплексу. Вони показали досить високу придатність та обчислювальну ефективність запропонованої сепарабельної моделі. Аналіз результатів розрахунків із упорядкування послідовностей елементів також підтвердив результативність запропонованих інтелектуальних алгоритмів

Бібл.15.

УДК 004.67

Баклан І.В., Очеретяний О.К., Григорович В.В. **Система аналізу ритмів електрокардіограм та виявлення аномалій** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 144 - 153.

У статті розглядається програмне забезпечення для аналізу і виявлення серцево-судинних захворювань у їх початковий період, щоб забезпечити просте, швидке та набагато діюче лікування пацієнта, а також забезпечити своєчасний контроль хронічних хвороб, що у свою чергу має покращити ступінь охорони здоров'я та зменшити витрати на непотрібні заходи для нього.

Бібл. 2, іл.5.

УДК 681.04

Полисский Ю.Д. **Об одном алгоритмическом решении задачи восстановления остатка числа в системе остаточных классов** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 154 - 164.

Рассматривается определение остатка по данному модулю на основании остатков по остальным модулям системы. Определение выполняется последовательным вычитанием (добавлением) констант из полученных остатков и суммированием (вычитанием) этих констант к результатам, которые формируются по данному модулю. Константы на каждой итерации выбираются в зависимости от значения остатка в анализируемом разряде. Приведены варианты реализации алгоритма с переходами от представления числа в прямом коде к представлению этого числа в обратном коде и от представления числа в обратном коде к его представлению в прямом коде.

Библ.5, табл.13.

УДК 004.4

Островська К.Ю., Бедай Р.В. **Дослідження продуктивності методів нормалізації об'ємних даних** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (128). - Дніпро, 2020. - С. 165 - 175.

Робота присвячена дослідженню продуктивності методів нормалізації об'ємних даних.

В рамках роботи було досліджено актуальні на сьогоднішній день методи нормалізації з метою їх застосування для нормалізації числових даних зі збереженням співвідношення. Була розроблена бібліотека, реалізує підійшли під цей критерій методи, що дозволяє нормалізувати і візуалізувати вихідні дані.

Бібл.9.

UDC 65.011.56

Stopkin V., Kazhan V, Demyanov R., Grodetsky V. **The task of modal control of a two-mass electromechanical system** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.3 – 12.

The mathematical model of the fourth-order electromechanical system is considered, taking into account the availability of measurements of all state variables. The values of the poles of the system with the modal controller are calculated, and the transients are obtained and studied for the standard forms of the Butterworth polynomial and the Newton polynomial for the fourth order of the system. Transitions are explored when used to debug a Newton polynomial controller and a Butterworth polynomial for a fourth-order system, with recommendations for future use in a Butterworth polynomial system that produces less static error.

Bibl.5, il.4

UDC 681.03

Vdovychenko I.N. **Formation of groups for use of a method of mutual training** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.13 – 20.

It is presented a method of mutual training. Reasonably expediency of its introduction. It is noted that way of formation of group of students for a method of mutual training not enough attention is paid. It is considered characteristic indicators which influence formation of groups. In work results of an experiment on formation of schemes of interaction of students in crews of mutually training are presented. For the correct selection of students in groups it is offered to use a sots_ometrichny method.

Bibl. 3, silt. 3, tab. 1.

UDC 378.14:629.331

Rudyk O.Yu., Dykha O.V. **SolidWorks as an innovative tool for studying the disciplines of automobile profile** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.21 – 35.

The proposed method of using SolidWorks as a means of teaching the technical disciplines of automotive profile: solid 3D design and modeling of components automotive engineering and gadgets in the first courses of study; durable, fatiguing and other engineering calculations for these assemblies and parts are in as follows courses of study (SolidWorks applications). SolidWorks creates sketches of automotive parts, assembles them, and then draws three-dimensional models. SolidWorks Simulation calculates these details. In this case, the proposed method involves the gradual assimilation of new material, its repetition and consolidation, application in practice.

Bibl. 24, ill. 6.

UDK 004.272.43.003.13

Shvachykh G.G., Konovalenkov V.S., Ivaschenko O.V., Sushko L.F. **Development of parallel structures of differential tasks of mathematical physics** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.36 – 45.

The paper is devoted to the construction of parallel forms of mathematical models of a tridiagonal structure. This paper considers two methods of discretization of differential problems on the example of solving the mathematical physics equation. Moreover, the application

of the numerical-analytical straight-line method and sweep methods for parallelization of mathematical models with a three-diagonal structure allows constructing its exact node-by-node solutions having the most parallel form and the least implementation time on parallel computing devices. The proposed approach for the development of methods, algorithms, and software can be applied in various branches of metallurgical thermal physics, economics, as well as environmental problems of the metallurgical industry.

Bibl. 13.

UDC 004.4'277.2

Tsaryk V., Hnatushenko Vikt. **Investigation of methods of vocal extraction in mixed records** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.46 – 56.

The existing methods of vocal isolation from mixed records are considered: frequency filtration method, phase subtraction method and methods based on artificial intelligence systems. A comparative analysis of the work of existing software tools for this task – Spleeter and iZotop RX7 is carried out. The conclusions are made about the imperfection of the existing methods for solving this problem.

Bibl. 5, tabl. 1.

UDC 004.932.72'1

Sokolova N. **The information technology for automated recognition building** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.57 – 67.

The share of space images in the total quantity of Earth remote sensing data is increasing every year. The quality of the data received from the satellites is improving, the accuracy is increasing, the price is being reduced, and the productivity of the new satellites is significantly improving. Automatic building recognition helps save time and system resources for updating geoinformation databases and maintaining up-to-date municipal geodetic data. The analysis of modern methods of building recognition revealed the imperfection of the use of some methods and algorithms, the low number of information technologies for automatic recognition of buildings and the needs to develop a comprehensive approach to address this issue. This paper is devoted to the description of the developed information technology for the tasks of recognizing buildings on high resolution remote sensing images of the Earth and verifying the recognition results. Modern approaches to building recognition are analyzed. Automatic recognition of high resolution satellite images is not effective due to the high heterogeneity of spectral, textural and spatial characteristics. In addition to "preferred" objects (homes and roads), high-resolution images include objects that interfere with spatial recognition (such as trees, cars, and most importantly shadows). The proposed technology is based on five steps: splitting the image into plots with the elimination of vacant plots and determining the type of plot histogram analysis; feature segmentation in image space; validation based on size analysis, geometric and shadow analysis; finding and generalizing the outline of the building. Methods based on geometric analysis, shadow analysis and metadata usage have been developed to verify the recognition results. The result is a vector file that contains recognized polygonal objects. An analysis of commercial buildings has found that a complete run, which includes all stages, improves overall recognition accuracy and reduces

manual post processing. Geometry analysis is a crucial step in the overall process with a significant impact on the end result. Size analysis and shadow analysis also play an important role and should be integrated into the process to reduce post-processing efforts.

Bibl. 10.

UDC 378.3:519.816

Bakhrushin V.E. **Admission of applicants to higher education institutions as a problem of multi-criteria decision making under uncertainty** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.68 – 79.

Some problems of the distribution of state order for higher education applicants by the Gale – Shapley algorithm are discussed. The experience of the admission campaigns to the higher education institutions of Ukraine in 2016 – 2019 shows that the basic assumptions of the Gale-Shepley algorithm are not fully satisfied. In particular, there are a number of uncertainty factors that can lead to the loss of optimality and efficiency of distribution results.

Bibl. 19, fig.1.

UDC 519.6

Brazaluk Iu.V., Gubin O.I., Davydova A.V., Deriy V.S., Yevdokymov D.V., Mala Yu.A. **Mathematical modeling of balloon systems for storage and rate control of gas** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.80 – 94.

Processes of gas outflow through porous insertion from high-pressure balloon using for gas-supply of space vehicle in long-time flow are considered in the work. The mathematical model of isothermal gas filtration is used to describe a filtration process. Application of asymptotic approach gives an opportunity to reduce the filtration process description to boundary-value problem for second order ordinary differential equation, which was solved analytically. It is shown, that the temperature inside the balloon and gas pressure on the porous insertion outlet can be used as control parameters for the process of gas outflow from high-pressure balloon through porous insertion. The results of the work can be recommended for using in space-missile technique and other field, connected with pressured gas storage.

Bibl. 13, ill. 1.

UDC 519.6

Derevyanko A.I. **Chaotic oscillations in RLD circuits** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.95 – 101.

A model of RLD circuits in the Multisim medium is considered and it is shown that an independent change in the amplitude U and frequency w forms a hysteresis loop $\max(U_d)$ for chaotic oscillations in the interval of values of U and w . Based on the computer model considered, it was possible to predict the bifurcation points of the hysteresis loop to determine the critical modes of electronic circuit elements.

Bible 2, ill. 6.

UDC 51-74:669.162-669.181.4

Foris S.M., Fedorov S.S., Pererva V.Y., Usenko A.Y. **Simulation operating modes for enhancing the efficiency of a shaft limestone kiln** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.102 – 114.

The mathematical model of a shaft counter flow lime-stone kiln with central and peripheral natural gas supply was developed. The model took into account gas dynamics in the moving bed of lime-stone material, convection, fuel combustion, external and internal heat transfer.

As a result, the efficient operating conditions of the kiln were determined. In average, the reduction of natural gas consumption rate comprised 20 ч 25 % with enhanced performance of the whole unit, in terms of product quality and productivity.

According to the obtained results, switching the kiln to firing with mixtures of natural and blast furnace gases can lead to economy of natural gas by 30%.

Bibl. 7, ill.2.

UDC 519.2:004.9

Kirichenko L., Bulakh V., Tawalbeh M., Zinchenko P. **Information technology of classification of fractal time series** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.115 – 126.

An information technology of fractal time series classification by machine learning is proposed. The choice of the classification method and the set of features is based on the multifractal and self-similar properties of time series. An example of binary classification of time series using the proposed technology is considered.

Ref.15, tab.2.

UDC 004.6: 007.5: 004.94

Skalozub V.V., Bilyy B.B., Galabut O.O., Murashov O.V. **Methods of intelligent modeling of processes with a variable observation interval and constructive ordering “with weight”** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.127 – 143.

There are proposed new substantive and formal formulations of the tasks for the ordering of the sequences of elements, which differ from the known ones, which take into account the different complexity (weight) of individual operations. There were created metrics to implement weight-ordering procedures and to compare the states of the formation processes also there were constructed intelligent production algorithms for the implementation of weight-ordering. The simulation results of these processes were obtained on the basis of the software package which we developed. They demonstrated the high applicability and computational efficiency of the proposed separable model. The effectiveness of the proposed intelligent algorithms were confirmed by analysis of the results of the calculations on the ordering of the sequences of elements

Ref.15.

UDC 004.67

Baklan I.V., Ocheretianyi O.K., Grigorovich V.V. **Analysis system of electrocardiography rhythms and anomaly detection** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.144 – 153.

The article examines software for the analysis and detection of cardiovascular diseases in their initial period, to provide simple, fast and much effective treatment for the patient, as well as to provide timely control of chronic diseases, which in turn should improve the degree of health and reduce the cost of unnecessary activities for him.

Ref. 2, pic.5.

UDC 681.04

Polissky Yu.D. **On one algorithmic solution of the problem of restoring the number remaining in the residual class system** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.154 – 164.

The determination of the remainder for this module based on the residuals for the remaining modules of the system is considered. The determination is performed by sequentially subtracting (adding) the constants from the obtained residuals and summing (subtracting) these constants to the results that are generated by this module. The constants at each iteration are selected depending on the value of the remainder in the analyzed digit. Variants of the implementation of the algorithm with transitions from representing a number in direct code to representing this number in reverse code and from representing a number in reverse code to its representation in direct code are given.

Bibl.5, tab. 13.

UDC 004.4

Ostrovska K.Yu., Beday R.V. **The study of the performance of normalization methods of volumetric data** // System technologies. N 3(128) - Dnipro, 2020.- P.165 – 175.

The work is devoted to the study of the performance of volume normalization methods.

In the framework of the work, current normalization methods were studied with the aim of their application to normalize numerical data while maintaining the ratio. A library has been developed that implements methods that meet this criterion, allows you to normalize and visualize the output.

Bibl. 9.