Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Інститут електродинаміки НАН України
Інститут іоносфери МОН і НАН України
Каліфорнійський університет, Ірвін (США)
Університет Жиліни, Словаччина
Люблінська політехніка, Польща
Університет Валенсії, Іспанія
Словацький технічний університет в Братиславі
Кошицький технічний університет
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)

Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції

«ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РАДІОТЕХНІКИ, ПРИЛАДОБУДУВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця

20-21 червня 2019 року

Тернопіль
ТНТУ
2019

УДК 681.518.3

Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції, 20-21 червня 2019 року: збірник тез доповідей. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2019. – 376 с.

ISBN 978-617-7331-85-7

Збірник містить матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» з таких основних напрямків: математичні моделі та інформаційні технології; обчислювальні методи та засоби в радіотехніці і приладобудуванні; супутникові та наземні системи телекомунікацій; електроживлення радіоелектронної апаратури; біомедична інженерія; автоматизація та комп'ютерні технології; світлотехніка і електроенергетика.

Голова програмного комітету

Ясній П.В. д.т.н., проф., член-кореспондент НАН України, ректор ТНТУ імені І. Пулюя, голова

Рогатинський Р.М. д.т.н., проф., заступник голови

Науковий секретар

Козак К.М. к.т.н., доц., ТНТУ

Члени програмного комітету

Абрамовіч А.	(Ізраїль)	**Ладанюк А.П.**	(Україна)
Андрійчук В.А.	(Україна)	**Марущак П.О.**	(Україна)
Бісікало О.В.	(Україна)	**Матвійчук В.А.**	(Україна)
Бурау Н.І.	(Україна)	**Мено А.**	(Марокко)
Гуменюк Л.О.	(Україна)	**Муноз А.Р.**	(Іспанія)
Кацціато М.	(Італія)	**Муравський Л.І.**	(Україна)
Дивак М.П.	(Україна)	**Наконечний М.В.**	(Україна)
Домнін І.Ф.	(Україна)	**Русин Б.П.**	(Україна)
Драґан Я.П.	(Україна)	**Сенько В.І.**	(Україна)
Дубровка Ф.Ф.	(Україна)	**Смедлі К.М.**	(США)
Дудикевич В.Б.	(Україна)	**Спанік П.**	(Словаччина)
Духон Ф.	(Словаччина)	**Стахів П.Г.**	(Україна)
Фрівальдський М.	(Словаччина)	**Стухляк П.Д.**	(Україна)
Івахів О.В.	(Україна)	**Ткачук Р.А.**	(Україна)
Келемен М.	(Словаччина)	**Юрченко О.М.**	(Україна)
Квєтний Р.Н.	(Україна)	**Яворський Б.І.**	(Україна)
Коцейко П.	(Польща)	**Яськів В.І.**	(Україна)

Роботи друкуються в авторській редакції. Видавець не несе відповідальності за достовірність інформації, яка наведена в роботах, та залишає за собою право не погоджуватися з думками авторів на розглянуті питання.

© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, укладання, оформлення, 2019

Секція: МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
Керівник: доц. Борис Шелестовський

УДК 519.7

Григорій Габрусєв, к.ф.-м.н., доц., Ірина Габрусєва, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПОПЕРЕДНЬО ДЕФОРМОВАНОЇ ТОВСТОЇ ПЛИТИ ПРИ ЇЇ КОНТАКТІ ІЗ ПАРАБОЛІЧНИМ ШТАМПОМ

У роботі проведено побудову моделі попередньо деформованої товстої плити при її гладкій контактній взаємодії із жорстким осесиметричним параболічним штампом. Базові співвідношення, що визначають напружено-деформований стан товстої плити з початковими напруженнями, яка моделюється попередньо напруженим півпростором, наведені в рамках лінеаризованої теорії пружності.

Ключові слова: контактні напруження, початкові деформації, параболічний штамп, товста плита, півпростір.

Hryhorii Habrusiev, Iryna Habrusieva

MODELING OF THE PREVIOUSLY DEFORMED THICK PLATE when IT is in CONTACT WITH A PARABOLIC PUNCH

A model of a previously deformed thick plate in case of its smooth contact interaction with the rigid axisymmetric parabolic punch is constructed in this work. The basic relations determining stress-strain state of the thick plate with initial stresses, which is modelled by the previously stressed half-space are provided within the framework of the linearized elasticity theory.

Keywords: contact stresses, initial deformations, parabolic punch, thick plate, semi-space.

Побудова математичної моделі пружної товстої плити є важливим завданням при проектуванні деталей машин та елементів споруд. Зокрема у будівництві для оцінки міцності бетонних перекриттів, монолітних фундаментних плит, для оцінки міцності дорожнього полотна, тощо. Щоб мінімізувати похибку, необхідно враховувати максимальну кількість чинників, що впливають на контактну взаємодію. Початкові деформації, які безпосередньо впливають на контактні напруження та переміщення, є одним із ключових факторів. У загальному випадку постановка таких задач вимагає залучення апарату нелінійної теорії пружності, проте при досить великих початкових деформаціях можна обмежитися і її лінеаризованим варіантом.

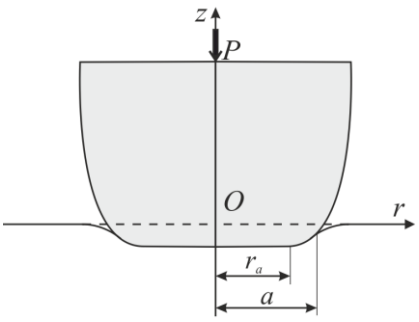


Рис. 1. Схема контактної взаємодії

Розглянемо задачу, про втиснення сталою силою P жорсткого параболічного штампа складної конфігурації у попередньо напружену товсту плиту, яку моделюватимемо півпростором [1]. Виберемо циліндричну систему координат $Or\theta z$ так, щоб координатна площина $Or\theta$ збігалася з граничною площиною півпростору, а вісь Oz – із лінією дії сили P (рис. 1).

Штамп доторкнувся до півпростору в точці O. Із збільшенням сили P, розміри ділянки контакту також збільшуються. Вважатимемо, що

її радіус a відомий, тоді величина прикладеної сили визначається із умови

$$P = -2\pi \int_0^a r\sigma_{zz}(r,0)\,dr, \tag{1}$$

а граничні умови поставленої задачі мають вигляд

$$\sigma_{rz}(r) = 0,\ 0 \le r < \infty; \tag{2}$$

$$\sigma_{zz}(r) = 0,\ a \le r; \tag{3}$$

$$u_z(r) = f(r),\ 0 \le r \le a.$$

Функція $f(r)$ відповідає формі поверхні, що обмежує штамп. Виберемо її у вигляді $f(r) = u_z(a) + \omega(r)$. Внаслідок цього остання гранична умова набуде вигляду

$$u_z(r) - u_z(a) = \omega(r),\ 0 \le r \le a, \tag{4}$$

$$\omega(r) = \begin{cases} -\dfrac{1}{2R}(r_a - a)^2,\ 0 \le r \le r_a; \\ \dfrac{1}{2R}\left[(r_a - r)^2 - (r_a - a)^2\right],\ r_a < r \le a, \end{cases}$$

де R – фокальний параметр параболи.

Будемо вважати залишкові напруження, що виникли у півпросторі, однорідними. Тому вирази для компонентів тензора напружень і вектора переміщень можна записати у наступному вигляді [1]

$$\sigma_{rz}(r,z) = -\frac{c_{44}(1+m_1)}{\sqrt{n_1}} \int_0^\infty \alpha^3 \left\{ \left[A_1 + A_2(s_0 + \alpha z)\right] e^{\alpha z} + \right.$$

$$\left. + \left[B_1 + B_2(s_0 - \alpha z)\right] e^{-\alpha z} \right\} J_0(\alpha r)\,d\alpha; \tag{5}$$

$$\sigma_{zz}(r,z) = c_{44}(1+m_1) l_1 \int_0^\infty \alpha^3 \left\{ \left[A_1 + A_2(s + \alpha z)\right] e^{\alpha z} + \right.$$

$$\left. + \left[B_1 + B_2(s - \alpha z)\right] e^{-\alpha z} \right\} J_0(\alpha r)\,d\alpha;$$

$$u_r(r,z) = -\int_0^\infty \alpha^2 \left\{ \left[A_1 + A_2(1 + \alpha z)\right] e^{\alpha z} + \right.$$

$$\left. + \left[B_1 + B_2(1 + \alpha z)\right] e^{-\alpha z} \right\} J_1(\alpha r)\,d\alpha; \tag{6}$$

$$u_z(r,z) = u_3(r,z) = \frac{m_1}{\sqrt{n_1}} \int_0^\infty \alpha^2 \left\{ \left[A_1 + A_2(s_1 + \alpha z)\right] e^{\alpha z} + \right.$$

$$\left. + \left[B_1 + B_2(s_1 - \alpha z)\right] e^{-\alpha z} \right\} J_0(\alpha r)\,d\alpha.$$

В останніх співвідношеннях константи c_{44}, m_1, n_1, l_1, s, s_0, s_1 залежать від пружного потенціалу й обираються у кожному окремому випадку відповідно до його характеру [2]. A_i та B_i – невідомі функції, що визначаються із граничних умов задачі.

На граничній площині півпростору при $z = 0$, ввівши позначення $F_1 = A_1 + B_1$, $F_2 = A_2 + B_2$, із (5), (6) отримаємо

$$\sigma_{rz}(r,0) = \frac{c_{44}(1+m_1)}{\sqrt{n_1}} \int_0^\infty \alpha^3 \left\{ F_1 + s_0 F_2 \right\} J_0(\alpha r)\,d\alpha; \tag{7}$$

$$\sigma_{zz}(r,0) = c_{44}(1+m_1)l_1\int_0^\infty \alpha^3\{F_1 + sF_2\}J_0(\alpha r)d\alpha; \quad (8)$$

$$u_z(r,0) = \frac{m_1}{\sqrt{n_1}}\int_0^\infty \alpha^2\{F_1 + s_1F_2\}J_0(\alpha r)d\alpha. \quad (9)$$

Задовольнивши граничну умову (2), із (7) отримуємо співвідношення між невідомими функціями F_1 та F_2:

$$F_1 = -s_0F_2. \quad (10)$$

Із врахуванням (10) вирази для нормальних напружень (8) та вертикальних переміщень (9) набувають вигляду:

$$\sigma_{zz}(r) = c_{44}(1+m_1)(s-s_0)l_1\int_0^\infty \alpha^3F_2J_0(\alpha r)d\alpha; \quad (11)$$

$$u_z(r) = \frac{m_1(s_1-s_0)}{\sqrt{n_1}}\int_0^\infty \alpha^2F_2J_0(\alpha r)d\alpha. \quad (12)$$

Задовольнивши граничну умову (3), матимемо:

$$c_{44}(1+m_1)(s-s_0)l_1\int_0^\infty \alpha^3F_2J_0(\alpha r)d\alpha = 0, \qquad a \le r. \quad (13)$$

Введемо невідому функцію $x(r)$, $0 \le r \le a$, за допомогою якої продовжимо співвідношення (13) на проміжок $0 \le r < \infty$:

$$c_{44}(1+m_1)(s-s_0)l_1\int_0^\infty \alpha^3F_2J_0(\alpha r)d\alpha = x(r)\eta(a-r),\ 0 \le r < \infty, \quad (14)$$

де $\eta(r)$ – одинична функція Гевісайда.

Функція $x(r)$ визначає розподіл контактних напружень під штампом. Врахувавши їх неперервність, а також рівність нулю на границі ділянки контакту (при $r = a$) подамо $x(r)$ у вигляді відрізка узагальненого ряду Фур'є за функціями $J_0\left(\frac{\lambda_n}{a}r\right)$

$$\sigma_{zz}(r) = x(r) = \sum_{n=1}^{N} a_nJ_0\left(\frac{\lambda_n}{a}r\right), \quad 0 \le r \le a, \quad (15)$$

де λ_n, $n = \overline{1,N}$ – додатні корені функції Бесселя $J_0(\lambda_n) = 0$, a_n – невідомі коефіцієнти. Застосувавши формулу обернення інтегрального перетворення Ганкеля до співвідношення (14), отримуємо вираз

$$\alpha^2F_2 = \frac{1}{c_{44}(1+m_1)(s-s_0)l_1}\sum_{n=1}^{N} a_n\int_0^a rJ_0\left(\frac{\lambda_n}{a}r\right)J_0(\alpha r)dr,\ 0 \le \alpha < \infty. \quad (16)$$

Використавши співвідношення (12), (16) та граничну умову (4) матимемо

$$k_1\sum_{n=1}^{N} a_n\int_0^\infty \Psi_n(\alpha)[J_0(\alpha r) - J_0(\alpha a)]d\alpha = \omega(r),\ 0 \le r \le a, \quad (17)$$

де $k_1 = \dfrac{m_1(s_1-s_0)}{c_{44}(1+m_1)(s-s_0)l_1\sqrt{n_1}}$; $\Psi_n(\alpha) = \int_0^a rJ_0\left(\frac{\lambda_n}{a}r\right)J_0(\alpha r)dr$.

Помноживши співвідношення (17) на $rJ_0\left(\frac{\lambda_q}{a}r\right)$ та проінтегрувавши отримані вирази по r від 0 до a, отримаємо:

$$\sum_{n=1}^{N} a_n \int_0^{\infty} \Psi_n(\alpha)\left[\Psi_q(\alpha) - K_q J_0(\alpha a)\right] d\alpha = \frac{w_q}{k_1},\ q = \overline{1,N}, \tag{18}$$

де $K_q = \int_0^a rJ_0\left(\frac{\lambda_q}{a}r\right)dr$; $w_q = \int_0^a r\omega(r)\,J_0\left(\frac{\lambda_q}{a}r\right)dr$.

Співвідношення (18) визначають систему N лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих a_n. При розв'язанні системи (18) доцільно зробити заміну

$$a_n = \frac{1}{2k_1R}a_n^*. \tag{19}$$

Зв'язок між фокальним параметром параболи R та величиною прикладеної сили встановлюється співвідношенням (1), звідки

$$R = \frac{-\pi}{2k_1P}\sum_{n=1}^{N} a_n^* K_n. \tag{20}$$

Врахувавши (20), за допомогою (15) та (19) отримуємо закон розподілу контактних напружень під штампом

$$\sigma_{zz}(r) = -\frac{P}{2\pi}\frac{\sum_{n=1}^{N} a_n^* J_0\left(\frac{\lambda_n}{a}r\right)}{\sum_{n=1}^{N} a_n K_n}.$$

А із співвідношень (12), (16) та (19) встановлюємо формулу для визначення вертикальних переміщень точок граничної площини півпростору

$$u_z(r) = -\frac{k_1P}{2\pi}\frac{\sum_{n=1}^{N} a_n \int_0^{\infty} \Psi_n(\alpha)\,J_0(\alpha r)\,d\alpha}{\sum_{n=1}^{N} a_n K_n}.$$

Із використанням побудованої математичної моделі можна провести дослідження напружено-деформованого стану попередньо деформованої товстої плити при її гладкій контактній взаємодії з жорстким осесиметричним параболічним штампом та проаналізувати вплив початкових деформацій на величину та характер контактних напружень і вертикальних переміщень точок граничної площини плити.

Отримані результати можна використати також при побудові експериментальної методики визначення характеру наявних у тілі початкових деформацій, що базується на втисненні у досліджувану плиту штампа певної форми.

Література.

1. Габрусєв Г. В. Вплив початкових деформацій товстої плити на її контактну взаємодію із параболічним штампом / Г. Габрусєв, І. Габрусєва // Вісник ТНТУ. - 2017. - Том 85. - № 1. - С. 29-37.

2. Habrusiev H. The effect of initial deformations of the thick plate on its contact interaction with the ring punch / Hryhorii Habrusiev, Iryna Habrusieva, Boris Shelestovs'kyi // Scientific Journal of TNTU. - 2018. - Vol 90. - No 2. - P. 50-59.

УДК 621.31:658.26

Людмила Давиденко[1], к.т.н., доц., Володимир Давиденко[2], к.т.н., доц., Ніна Давиденко[3], к.т.н.

[1]Луцький національний технічний університет, Україна
[2]Національний університет водного господарства та природокористування
[3]Національний університет водного господарства та природокористування

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЦИКЛІЧНИХ ЗМІН ВОДОСПОЖИВАННЯ

Розглянуто питання побудови математичної електроспоживання насосної станції для визначення базового рівня електроспоживання, адаптованого до зміни фактичних умов водоподачі, зумовлених впливом сезонних та соціальних чинників.

Ключові слова: насосна станція, визначальні змінні, модель електроспоживання, базовий рівень електроспоживання

Liudmyla Davydenko, Volodymyr Davydenko, Nina Davydenko

CONSTRUCTION OF THE POWER CONSUMPTION MODEL OF THE WATER SUPPLY PUMPING STATION TAKING INTO CONSIDERATION CYCLIC CHANGES IN WATER CONSUMPTION

The issues of construction a mathematical model of power consumption of pumping station for determining the energy baseline adapted to change in the actual conditions of water supply caused by the influence of seasonal and social factors is considered.

Keywords: pumping station, relevant variables, power consumption model, energy baseline.

Відповідно до стандарту ISO 50001 енергетичне планування передбачає проведення енергетичного аналізу для виявлення тенденцій, сезонних коливань, чинників, від яких залежить споживання енергії. Результатом енергетичного аналізу є інформація та дані, необхідні для встановлення базового рівня енергоспоживання (БРЕ) [1], який повинен бути унормованим до змінних, що впливають на енергоспоживання; часовий період базового рівня енергоспоживання повинен бути типовим для коливань в операціях; дані щодо визначальних змінних та фактичного енергоспоживання повинні представляти той самий часовий період, що й БРЕ. Загалом моделлю БРЕ є функція $\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{f}\left(\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, ..., \boldsymbol{x}_n\right)$, що відображає залежність між вхідними та вихідною змінними.

Сумарні витрати електроенергії насосної станції (НС) залежать від обсягу води, що перекачується, і створюваного напору. Необхідний напір залежить від втрат напору і необхідного вільного напору в місцях водорозбору, а витрати води - від обсягів водоспоживання. Водоспоживання є одним з чинників, що впливають на ефективність режиму електроспоживання. Воно є нерівномірним і формується під впливом сезонних (що відображають вплив температури повітря, опадів тощо) та соціальних (що відображають вплив зміни укладу життя у робочі та вихідні дні) чинників зовнішнього середовища. Крім того, зміна об'ємів витрати води з мережі зумовлює зміну режиму роботи насосних агрегатів, а отже й значення технологічних параметрів та інших змінних, що впливають на ефективність електроспоживання, та часових періодів для їх отримання. Отже, електроспоживання НС залежить від: характеристик технологічного процесу, технічних характеристик, параметрів режиму роботи та умов зовнішнього

середовища. Математичний опис зв'язку між всіма чинниками та електроспоживанням є складним. При цьому, ступінь впливу чинників на електроспоживання є різним.

Передумовою моделювання електроспоживання є створення бази даних (БД) про електроспоживання та технологічні параметри режиму роботи НС.

Впровадження системи моніторингу забезпечує постійне отримання інформації про електроспоживання, технологічні параметри, характеристики режимів роботи НС; створення баз даних та можливість використання методів інтелектуального аналізу даних для виявлення закономірностей у формуванні технологічних режимів НС.

На першому етапі необхідним є аналіз режимів водоспоживання, виявлення тенденцій його зміни залежно від сезону, кліматичних умов. Характеристикою фактичного режиму водоспоживання є добовий графік витрати води (ГВВ) з мережі водопостачання [2]. Система моніторингу дозволяє сформувати БД добових ГВВ та їх показників, сукупний аналіз яких забезпечує виявлення прихованих закономірностей у характері водоспоживання. Його виконано у два етапи: 1) виявлено вплив сезонності; 2) виявлено вплив соціальних. Для першого етапу виявлено чотири класи ГВВ: 1 клас – «літо»; 2 клас – «зима»; 3 клас – «весна-літо-осінь; 4 клас – «нерегулярні дні» (ГВВ різних місяців та сезонів). Для другого етапу виявлено три класи: 1 клас – «робочі дні»; 2 клас – «вихідні дні»; 3 клас – «нерегулярні дні» (ГВВ днів різного типу) [3].

Наступний етап – формування набору визначальних змінних. Попередньо було виконано аналіз чинників, що впливають на ефективність електроспоживання. Для оцінки взаємозв'язку між змінними використано кореляційний аналіз. Виявлено: найбільший вплив на електроспоживання мають змінні подача Q та надлишковий тиск ΔH_{Σ}. Слід зазначити, що покриття відхилень об'ємів витрати води від запланованих значень забезпечується регульованими насосними агрегатами. Математичний опис цього процесу є складним. Тому для спрощення моделювання електроспоживання НС запропоновано враховувати морфометричні показники нерівномірності графіка водоподачі [2]. Вони описують форму графіка витрати води і дозволяють врахувати його зміну. Отже, модель електроспоживання представлено у вигляді залежності:

$$W_{нс} = f\{Q, \Delta H_{\Sigma}, M_1, M_2, M_3, M_4\}, \quad (1)$$

де M_1 - округлість; M_2 - компактність; M_3 - видовження; M_4 – випуклість [2].

Структура і механізм взаємодії вибраних параметрів є невідомими. Для побудови моделі енергоспоживання доцільно використовувати метод самоорганізації - метод групового урахування аргументів (МГУА). МГУА дає змогу виконати структурно-параметричну ідентифікацію математичної моделі електроспоживання на основі спостережених даних. Алгоритм МГУА знаходить взаємозв'язки в даних для підвищення точності прогнозування і вибору оптимальної структури моделі. МГУА на основі експериментальних даних дозволяє знайти оптимальну нефізичну модель, точність якої вища і структура якої простіша ніж повної фізичної моделі [4].

Для моделювання електроспоживання за експериментальними даними вибрано комбінаторний алгоритм методу групового урахування аргументів. Попередньо було створено вибірки даних для електроспоживання та визначальних змінних. Їх отримано з урахуванням результатів формування груп однотипних ГВВ [3].

Пошук моделей оптимальної складності виконувався в таких класах опорних функцій: клас моделей лінійного опису – лінійні функції від n змінних (клас №1); клас моделей лінійного опису з ефектом взаємодії (клас №2); клас моделей нелінійного опису з обмеженням ступеня p: p=2 – квадратичні функції від n змінних (клас №3); p=3 – кубічні функції від n змінних (клас №5); клас поліноміальних моделей з ефектом взаємодії – поліноміальні функції від n змінних з обмеженням ступеня p: p=2 – квадратичні функції (клас №4); p=3 – кубічні функції (клас №6).

Згідно алгоритму МГУА оптимальна модель вибирається з умови мінімуму зовнішніх критеріїв: спочатку за критерієм регулярності, потім – за критерієм мінімуму

зсуву [4]. Одним з етапів є перевірка її достовірності та апробація на реальних даних. Про ступінь валідації моделі свідчить її здатність правильно визначати вихідну величину. Стратегія валідації використовується для вибору методу перевірки моделі. Одна з них - спосіб формування навчальної вибірки (для побудови моделі) і тестової (для її перевірки). Хороша модель дає прийнятні результати точності на навчальній і контрольній вибірці. Як стратегію валідації моделей вибрано перехресну перевірку (крос-валідацію) по К-блоках. Оптимальна модель відшукується лише в заданому класі.

У результаті використання МГУА отримано модель оптимальної складності для кожного класу опорних функцій. Отримані моделі забезпечують мінімум внутрішнього критерію Δ^2(A), та варіації похибки прогнозу δ^2, максимум коефіцієнта кореляції R (їх розраховано на навчальній вибірці), а також критерію регулярності Δ^2(B), незміщеності $n_{зс}$ в обраному класі функцій (їх розраховано на перевірочній вибірці). Такі результати отримано для всіх типових класів за сезоном та типом дня. Всі моделі-кандидати є оптимальними в своєму класі та забезпечують мінімум вибраних критеріїв відбору. Слід зазначити, що ускладнення моделі та підвищення степеню полінома не дає значного підвищення якості моделювання та точності прогнозування.

Вибір кращої структури моделі передбачає аналіз її адекватності на основі критеріїв регулярності, мінімум зсуву, Шварца, коефіцієнту детермінації, а також оцінку точності прогнозу. Цільові функції багатокритерійного вибору кращої моделі:

$$\begin{gathered}\Delta^2(B) \to \min; \quad n_{зс} \to \min; \\ R^2 \to \max; \quad BIC \to \min; \quad \Delta^2(C) \to \min.\end{gathered} \tag{2}$$

В результаті вибрано кращі структури моделей моделей електроспоживання для кожного типового дня кожного сезону. Відібрані моделі є моделями з ефектом взаємодії та більшість з них (крім моделі для вихідного дня зимового сезону) є лінійними моделями. Кожна модель адаптована до режиму водоподачі типового дня певного сезону. Це дає змогу врахувати конкретні умови функціонування насосної станції водоподачі під час визначення БРЕ для заданого часового проміжку.

Виявлення та врахування циклічних змін технологічного процесу (відповідно до вимог стандартів серії ISO 50000), зумовлених впливом чинників зовнішнього середовища, забезпечує можливість визначення часових діапазонів для визначення (спостереження) визначальних змінних та побудови моделі електроспоживання, яка є адаптованою до режиму водоподачі для характерного типу дня відповідного сезону. Застосування комбінаторного алгоритму МГУА дало змогу здійснити структурно-параметричну ідентифікацію моделі за експериментальними даними та сформувати сукупність моделей-кандидатів, а їх оцінка за множиною критеріїв якості моделювання та точності прогнозу дозволяє виконати відбір кращої структури моделі для типових днів кожного сезону. Це забезпечує можливість визначення БРЕ НС водоподачі з урахуванням її фактичних умов роботи протягом конкретного часового інтервалу.

Література

1. ДСТУ ISO 50004:2016 Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту. К.: ДП «УкрНДНЦ, 2016. 38 с.

2. Розен В.П., Давиденко Н.В. Формування множини характеристик фактичного режиму водоспоживання в системах комунального водопостачання. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2015. № 3 (41). С. 85-92.

3. Давиденко Л.В., Давиденко Н.В. Побудова правил дискримінації добових графіків витрати води з мережі водопостачання з урахуванням сезонних та соціальних чинників. Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. 2018. №3/2018(110). С. 20-25.

4. Стеценко І. В. Моделювання систем. Черкаси: ЧДТУ, 2010. 399 с.

УДК 621.396

Андрій Дівіцький, Антон Сторчак, Василь Некоз
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Україна

АТАКИ НА ДЕРЖАВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Представлено атаки на державні інформаційні ресурси, що обробляються засобами інформаційно-телекомунікаційних систем. Представлено загальну структуру реалізації атаки. Проведено аналіз атак на системи обробки державних інформаційних ресурсів. Представлено класифікацію атак та параметри цих атак. Описані стратегії здійснення атак. Висунуто перелік вимог до методів виявлення атак. Визначено, що реалізація загроз відбувається за допомогою множини різнонаправлених атак.

Ключові слова: державні інформаційні ресурси, інформаційно-телекомунікацінi системи, атаки на державні інформаційні ресурси, фази атак, класифікація атак, вразливості систем.

Andriy Divicky, Anton Storchak, Vasyl Nekoz

APPLICATIONS APPLICABLE FOR TERRORIST, PRIVACY OR ACCURACY IN PUBLIC INFORMATION RESOURCES

Attacks on state information resources processed by means of information and telecommunication systems are presented. The overall structure of the attack implementation is presented. The analysis of attacks on state information resources processing systems was carried out. The classification of attacks and parameters of these attacks is presented. The strategies for attacking are described. The list of requirements for methods of detection of attacks is issued. It is determined that the realization of threats occurs through a set of multi-directional attacks.

Keywords: state information resources, information and telecommunication systems, attacks on state information resources, phases of attacks, classification of attacks, vulnerability of systems.

Державні інформаційні ресурси (ДІР) являють собою систематизовану інформацію, що є доступною за допомогою інформаційних процесів, що використовують засоби обчислювальної техніки та забезпечують високу швидкість обробки даних, швидкий пошук інформації, розосередження даних, доступ до джерел інформації незалежно від місця їх розташування. Під обробкою ДІР розуміємо виконання однієї або кількох операцій, а саме: збирання, введення, записування, перетворення, зчитування, зберігання, знищення, реєстрація, приймання, отримання, передавання, які здійснюються в системі за допомогою технічних і програмних засобів. Від надійного виконання зазначених операцій та функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС) в значній мірі залежить рівень захищеності ДІР та ефективна робота державних установ, організацій. На стан ІТС впливають атаки, тобто дії зловмисників або шкідливих програм, які спрямовані на захоплення ДІР, отримання повного контролю над системами управління ДІР або на втручання в нормальне функціонування ІТС.

Атаки реалізуються для порушення конфіденційності, цілісності або доступності ДІР, що зберігається, обробляється та циркулює в ІТС. З цією метою, як

правило, використовують вразливості ІТС, які являють собою певні апаратні способи втручання або нездатність системи протистояти реалізації певних загроз.

Атаки на ДІР в ІТС класифікуються за: характером впливу (пасивні, активні); метою впливу (порушення конфіденційності, порушення цілісності, порушення доступності); умовою початку здійснення впливу (атака на запит від об'єкта, що атакується; атака по настанню події, що очікується на об'єкті; безумовна атака); наявністю зворотного зв'язку з об'єктом, який атакується (зі зворотним зв'язком, односпрямована атака); розташуванню атакуючого щодо атакуємого об'єкта (внутрішньо сегментна, між сегментна); кількістю атакуючих (розподілена, нерозподілена).

Аналіз останніх публікацій свідчить про те, що існуючі атаки, які застосовуються для проведення вторгнень в ІТС поділяються на 5 категорій. Кожна з категорій містить множину типів атак, які використовуються для реалізації мети вторгнення. В свою чергу кожен тип атаки несе загрозу мережі на відповідних рівнях мережевої моделі OSI та виконує свою функцію, щодо здійснення деструктивного впливу на мережу . До вказаних атак відносять:

Side-channel атаки (атаки сторонніми каналами) – атаки, спрямовані на вразливості в практичній реалізації криптосистеми. На відміну від теоретичного криптоанализа, атаки по стороннім каналах використовуть інформацію про фізичні процеси в пристрої, які не розглядаються в теоретичному описі криптографічного алгоритму. До найчастіше застосованих Side-channel атак належать: probing attack, timing attack, fault–induction attack, power analysis attack, electromagnetic analysis attacks та інші атаки;

DoS атаки – це мережеві атаки, спрямовані на створення ситуацій, коли у системі, що піддається вторгненню, відбувається відмова в обслуговуванні. Вказані атаки характеризуються генерацією великого об`єму трафіка, що призводить до перенавантаження та блокування сервера. До найчастіше застосованих DoS атак належать: back, land, neptune, pod, smurf, teardrop attacks та інші атаки;

U2R атаки – пропонують отримання зареєстрованим користувачам привілеїв адміністратора. До U2R атак відносять наступні атаки: buffer_overflow, loadmodule, perl, rootkit;

R2L атаки, що характеризуються отриманням доступу незареєстрованого користувача до мережі з боку віддаленої станції. Поділяють R2L атаки на: ftp_write, guess_passwd, imap, multihop, phf, spy, warezclient, warezmaster та інші атаки;

Probe-атаки – сканування мережевих портів з метою отримання конфіденційної інформації. Probe-атаки поділяються на наступні типи: ipsweep, nmap, portsweep, satan та інші.

Зазвичай атака надходить до ІТС у вигляді повідомлення, яке містить в собі мову, відео, аудію інформацією або дані. Вказані атаки за своєю функцією можуть впливати на: управління ІТС, розмежування доступу, обмін пакетами, енергетичні характеристики, доступ до кодування, управління інформацією та інше.

Опис стратегій здійснення атак, що використовуються при проведення атак на інформаційні системи представлено в проекті корпорації The MITRE Adversarial Tactics, Techniques and Common Knowledge [5]. В свою чергу база даних (атак) та модель для оцінки поведінки зловмисників (при здійсненні вторгнень) являє собою матрицю ATT@CK, яка описує найбільш небезпечні фази атаки на ІТС, а саме:

– отримання початкового доступу (Initial Access) – представляє вектори, які використовують зловмисники для отримання доступу до мережі;

– виконання (Execution) – застосування методів, що призводять до виконання коду зловмисника в локальній або віддаленій системі;

– закріплення в атакуємій системі (Persistence) – будь-які зміни доступу або конфігурації системи, які забезпечують постійну присутність зловмисника в цій системі;

– підвищення привілеїв (Privilege Escalation) – зловмисник має скористатись слабкими місцями системи для отримання прав локального адміністратора або рівня system/root;

– обхід захисту (Defense Evasion) – набір атрибутів, які застосовує зловмисник для ухилення від виявлення;

– отримання облікових даних (Credential Access) – методи отримання доступу або контролю обліковими даними системи, домена або служби, що використовуються в системі;

– огляд (Discovery) – методи отримання зловмисником відомостей про систему і внутрішню мережу;

– горизонтальне просування (Lateral Movement) – методи збору інформації із системи без використання додаткових інфструментів;

– збір даних (Collection) – методи збору інформації;

– витік (Exfiltration) – матоди та атрибути видалення файлів і інформації з цільовою системи;

– управління і контроль (Command and Control) – взаємодія зловмисника з підконтрольними системами.

Тобто для виявлення широкого спектру різнонаправлених за своїм фізичним змістом атак сучасні системи виявлення атак та методи виявлення атак повинні враховувати вищезазначені особливості атак та мати наступні можливості, а саме: інтелектуалізація процесу встановлення вразливостей та виявлення атак; високу точність виявлення атак; високу швидкість виявлення атак; можливість виявлення нових типів атак; робота в умовах непередбачуваності; можливість самонавчання, саморганізації та ін.

Висновки. Проведений аналіз класифікацій, категорій, стратегій, та здійснення фаз атак на ДІР, показав їх різноманітність. На основі цих даних виникає завдання щодо удосконалення існуючих та розробку нових методів виявлення атак, що підвищить єфективність функціонування системи забезпечення безпеки ДІР, на що і буде направлена подальша наукова робота.

Література

1. Основи формування державної системи кібернетичної безпеки: монографія / В.Л. Бурячок. – К.: НАУ, 2013. - 432 с.

2. Аналіз вразливостей корпоративних інформаційних систем / Д. Мехед, Ю. Ткач.

3. В. Базилевич, В. Гур'єв, Я. Усов // Захист інформації. - 2018. - №20(1). - с.61-66. DOI: 10.18372/2410-7840.20.12453

4. Класифікація загроз інформаційній безпеці в комп'ютерних системах при віддаленій обробці даних / Я.В. Корпань // Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2015. - №17(2). – С. 39-46.

5. Офіціальний сайт KDD Cup 1999 Data. Режим доступу: http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99

6. Офіціальний сайт The MITRE Corporation. Режим доступу: http://attack.mitre.org

УДК 519.63 К

Катерина Зайчук, Ірина Лавренюк
Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В СУЧАСНІЙ РОЗРОБЦІ

У даній роботі поставлено завдання розглянути навіщо необхідно використовувати потоки, проблеми, які можуть виникнути під час використання потоків та паралельних обчислень. Також у даній роботі наявний опис деяких методів вирішення таких проблем.

Ключові слова: Потоки, паралельні обчислення, «вузькі місця», IDE Visual Studio, інструменти профілювання.

Kateryna Zaichuk, Iryna Lavreniuk

FEATURES OF THE USE OF PARALLEL COMPUTING IN MODERN DEVELOPMENT

In this work, the task is: to consider why it is necessary to use threads, problems that can arise while using threads and parallel computing. Also in this work there is a description of some methods of solving such problems.

Keywords. Threads, parallel computing, "Bottlenecks", IDE Visual Studio, profiling tools.

На сьогоднішній день загальною тенденцією є поява задач, які потребують великої кількості ресурсів для свого вирішення. Певною мірою розвиток технологій здатен забезпечити деякі потужності, але нажаль, цього виявляється недостатньо. Наразі апаратне забезпечення розвивається зі швидкістю, яка нижча за швидкість появи задач. Тому необхідно змінювати наявний підхід до їх розв'язку, тобто, ефективніше використовувати наявні ресурси. Одним з таких рішень є паралельні обчислення.

Також треба відмітити, що для розв'язання задачі за допомогою паралельних обчислень, необхідно, щоб така задача допускала можливість розбиття на підзадачі. Такі підзадачі виконуються кожна у своєму потоці або на своєму процесорі в розподіленій системі. На рисунку 1 показана схема паралельних обчислень.

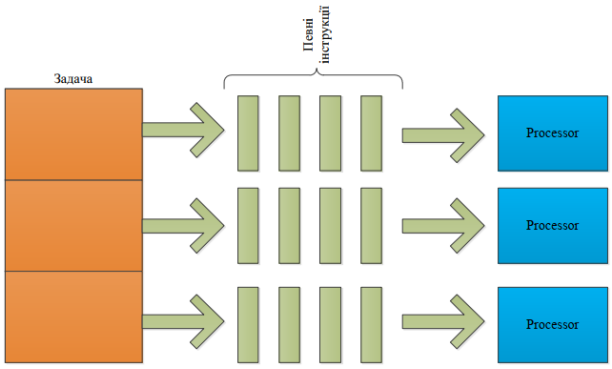


Рис. 1. Схема паралельних обчислень

Оскільки паралельна програма представляє собою множину взаємодіючих паралельних процесів (потоків), то основною метою паралельних обчислень є прискорення рішення обчислювальних задач. При цьому необхідно пам'ятати, що

паралельні програми мають наступні особливості, які необхідно враховувати при написанні коду:

- здійснюється управління роботою безлічі процесів;
- організовується обмін даними між процесами;
- втрачається детермінізм поведінки через асінхронність доступу до даних;
- переважають нелокальних та динамічні помилки;
- з'являється можливість тупикових ситуацій;
- виникають проблеми масштабованості програми і балансування завантаження обчислювальних вузлів.

Не виключена ситуація коли при використанні паралельних обчислень бажана ефективність не досягається. У такому разі можна сказати, що з'явилися «вузькі місця» процесу функціонування. Згідно з, [1] такі вузькі місця можна об'єднати у 3 групи:

- На будь-якому паралельному пристрої потоки даних обробляються не однаково. Деякі потоки реалізуються ефективно, деякі – не дуже.
- Не в кожній програмі обов'язково існують фрагменти які ефективно реалізуються на певному, конкретному пристрої.
- Залежність від використаної в компіляторі технології відображення програм у машинний код [1].

Для вирішення проблеми «вузьких місць» програмісти, найчастіше аналізують інформацію про процес виконання, зібрану під час його виконання.

Якщо ж під час аналізу «вузьких місць» не було виявлено тих частин що працюють найдовше використовують інструменти для профілювання. Коли такі місця будуть виявлені програміст їх модифікує. Таким чином досягається бажана продуктивність системи [2].

Наприклад у IDE Visual Studio є вбудований інструментарій для профілювання коду. Також, передбачено декілька засобів для збору та аналізу продуктивності. Та в більшості випадків рекомендується користуватись параметрами майстра аналізу продуктивності за замовчуванням. За допомогою цього майстра можливо збирати статистику програми, яка дозволить виявити наявність проблем у коді.

Якщо існують певні «загальні» проблеми кодування, то їх можна побачити у вікні помилок Visual Studio. За допомогою таких попереджень існує можливість написати більш ефективний код. Це рішення напряму залежить від програміста.

Звіти інструментів профілювання можливо дивитись на різноманітних рівнях, починаючи від коду написаного програмістом, закінчуючи процесами. Більше того, у таких звітах наявні дані про виконання програми. Наприклад – дерево виклику всієї програми [3].

Література

1. Воеводин В. В. Параллельные Вычисления / В.В. Воеводин, В.В. Воеводин. – Санкт-Петербург: "БХВ-Петербург", 2002. – 608 с.

2. Параллельные заметки №1 – технология OpenMP [Електроний ресурс] URL: https://www.viva64.com/ru/b/0053/ (Дата звернення 12.04.2019).

3. Getting Started with Profiling Tools [Електроний ресурс] URL: https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/visualstudio/visual-studio-2012/bb385749(v=vs.110) (Дата звернення 12.04.2019)

УДК 550.388

Дмитро Іскра, Вячеслав Колодяжний, Михайло Ляшенко, к.ф.-м.н., с.н.с.
Інститут іоносфери НАН та МОН України, Україна

РОЗВИТОК РЕГІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІОНОСФЕРИ CERIM IION В РАМКАХ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ ПРОГНОЗУ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ

Представлено опис комп'ютерної версії регіональної моделі іоносфери CERIM IION. Виконано розрахунки за моделлю CERIM IION для чотирьох характерних геофізичних періодів – зимового та літнього сонцестоянь, весняного та осіннього рівнодень. Представлено результати порівнювального аналізу розрахунків за регіональною моделлю іоносфери CERIM IION з експериментальними даними та розрахунками за глобальною моделлю IRI-2016.

Ключові слова: іоносфера, регіональна модель іоносфери, космічна погода

Dmytro Iskra, Vyacheslav Kolodyazhnyi, Mykhaylo Lyashenko

DEVELOPMENT OF THE REGIONAL IONOSPHERIC MODEL CERIM IION IN THE FRAME OF CREATION OF THE INFORMATION SERVICE FOR SPACE WEATHER FORECASTING

Description of the computer version of the regional ionospheric model CERIM IION is presented. Calculations were made using the CERIM IION model for four characteristic geophysical periods – the winter and summer solstices, the vernal and autumn equinoxes. The results of a comparative analysis of calculations using the CERIM IION regional ionospheric model with experimental data and calculations using the IRI-2016 global model are presented.

Keywords: ionosphere, regional model of ionosphere, space weather

Відомо, що для вирішення широкого кола практичних задач, наприклад, для розрахунку параметрів динамічного та теплового режимів іоносферної плазми, необхідно мати достовірні відомості про основні параметри іоносфери (концентрацію електронів, температуру електронів та іонів, швидкість вертикального переносу плазми та ін.). Частково, цю проблему можна вирішити, використовуючи дані, які розраховано за допомогою моделей атмосфери та іоносфери. В цей час до таких сучасних моделей навколоземного космічного середовища відносяться – модель нейтральної атмосфери NRLMSISE-00 [1] і довідкова модель іоносфери IRI (International Reference Ionosphere) [2]. Однак, як показує досвід користування такими моделями на практиці та порівняння розрахунків за ними з реальними експериментальними даними, такі моделі не завжди адекватно відображують просторово-часовий розподіл параметрів атмосфери та іоносфери в реальних умовах і конкретному регіоні. Причому, нарівні з кількісними, нерідко мають місце і якісні відмінності в варіаціях параметрів геокосмосу. Проблему підвищення точності розрахунків за сучасними глобальними моделями може вирішити розробка нових і вдосконалення існуючих регіональних моделей іоносфери.

Метою роботи є розвиток регіональної моделі іоносфери CERIM IION для створення української служби прогнозування космічної погоди. Ця робота в Інституті іоносфери виконується за договором з Інститутом космічних досліджень НАН України та ДКА України в рамках виконання наукового проекту "Інформаційний сервіс космічної погоди" відповідно до Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018 – 2022 рр.

В Інституті іоносфери НАН та МОН України побудовано регіональну модель іоносфери CERIM IION, яка базується на масиві експериментальних даних, отриманих за допомогою Харківського радара некогерентного розсіяння (НР) та іонозонду в період з 1986 по 2016 рр. [3 – 5].

У попередній версії моделі CERIM IION залежність параметрів іоносфери від сонячної активності визначалася фазами циклу сонячної активності – максимумом, мінімумом, фазою зростання та спаду. Модель розроблено для магнітоспокійних умов (індекс $K_p \leq 3$). До вихідних параметрів регіональної моделі відносяться: концентрація електронів N, температури електронів T_e та іонів T_i, швидкість переносу плазми; частоти зіткнень заряджених і нейтральних частинок, повздовжні складові тензорів амбіполярної дифузії та теплопровідності, плазмова наведена висота; швидкість переносу частинок за рахунок амбіполярної дифузії, щільність повного потоку частинок, щільність потоку за рахунок амбіполярної дифузії, швидкості нейтральних вітрів, значення енергії, що підводиться до електронів і щільність потоку тепла, яке переноситься електронами із плазмосфери в іоносферу. Ця версія моделі була оформлена у вигляді довідника з таблицями відповідних параметрів. Нажаль, ця форма представлення регіональної моделі CERIM IION не є зручною для використання. Тому прийнято рішення про подальше вдосконалення моделі шляхом створення нової комп'ютерної версії, яка буде зручнішою для використання на практиці.

Також в новій версії моделі залежність параметрів іоносфери від сонячної активності визначається вже не фазами циклу, а регресійними залежностями відповідних іоносферних параметрів від індексу сонячної активності $F_{10,7}$, який відповідає потоку радіовипромінювання Сонця на довжині хвилі 10,7 см [3, 5].

На цей час розроблено та реалізовано модельні блоки розрахунку сезонно-добових варіацій основних параметрів області F2 іоносфери. Програму реалізовано за допомогою мови програмування C++. Результати розрахунку відображуються на екрані персонального комп'ютера у відповідному вікні (рис. 1). Є можливість запису результатів у текстовий файл для подальшого збереження та використання в інших задачах прикладного характеру.

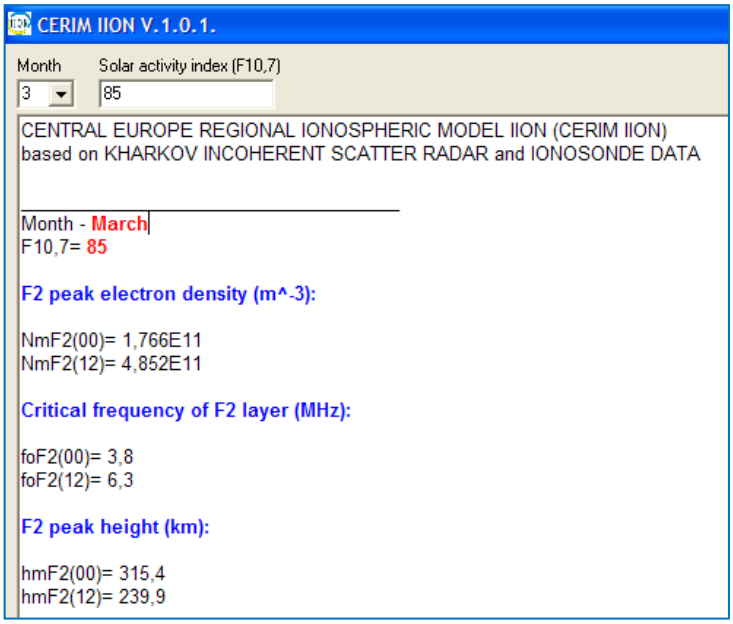


Рис. 1. Інтерфейс комп'ютерної версії регіональної моделі іоносфери CERIM IION для розрахунку основних параметрів області F2 іоносфери

Основні вхідні параметри моделі: значення індексу сонячної активності $F_{10,7}$ (діапазон значень від 60 до 250) та номер місяця (від 1 до 12).

Основними вихідними параметрами програми є: 1) сезонно-добові варіації концентрації електронів в максимумі області F2 іоносфери *Nm* (м$^{-3}$); 2) сезонно-добові варіації критичної частоти шару F2 іоносфери *fo*F2 (МГц); 3) сезонно-добові варіації висоти максимуму області F2 іоносфери *hm* (км).

Комп'ютерна програма має можливість до оновлення, яке може відбутися у разі перерахунку відповідних коефіцієнтів регресій. Відповідні коефіцієнти регресій можуть корегуватися за рахунок збільшення масиву експериментальних даних.

Для апробації регіональної моделі виконано розрахунки добових варіацій основних параметрів шару F2 іоносфери – концентрації електронів в максимумі області F2 іоносфери *Nm*F2 та висоти цього максимуму *hm*F2 для чотирьох характерних геофізичних періодів – зимового та літнього сонцестоянь, весняного та осіннього рівнодень на фазі спаду 24-го циклу сонячної активності. На рис. 2 – 3 представлено добові варіації основних параметрів шару F2 іоносфери. Для порівняльного аналізу на цих графіках додано експериментальні дані *Nm*F2 та *hm*F2, які отримано на радарі НР та іонозонді протягом рівнодень та сонцестоянь у 2016 – 2018 рр. Також на рис. 2 – 3 представлено результати моделювання добових варіацій *Nm*F2 та *hm*F2 за розрахунками по глобальної моделі іоносфери IRI-2016.

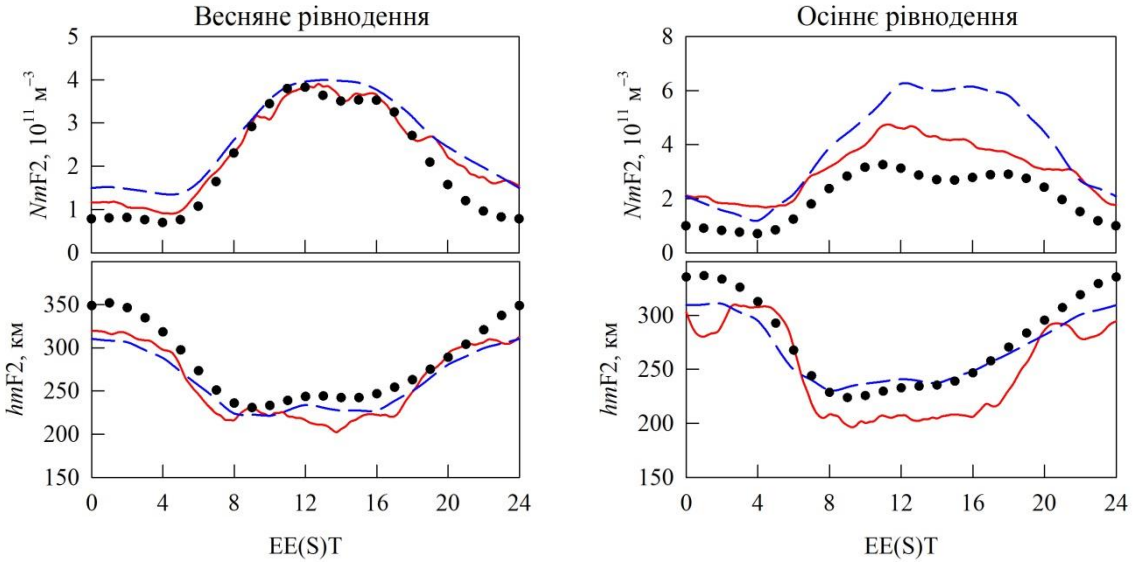


Рис. 2. Добові варіації основних параметрів шару F2 іоносфери в періоди весняного та осіннього рівнодень. Тут і далі на графіках позначені криві: суцільна лінія – усереднені експериментальні дані, тире – розрахунки за моделлю CERIM IION, точки – розрахунки за моделлю IRI-2016

Результати розрахунків за розглянутими моделями показують, що добові модельні залежності основних параметрів шару F2 іоносфери якісно відображують форму добового хода. Форма добових варіацій *Nm*F2 та *hm*F2 є типовою для розглянутих сезонів. Однак з тим, існують і кількісні розбіжності між експериментальними даними та модельними розрахунками. Порівняння розрахунків за моделлю CERIM IION з модельними даними IRI-2016 показало, що модель CERIM IION в більшості випадків краще за глобальну модель іоносфери IRI-2016. Основні розбіжності, які спостерігаються при порівнянні з експериментом, пов'язані з недостатністю експериментальних даних для певних місяців для побудови відповідних модельних регресійних залежностей. Ще одна з причин розбіжностей – відміна

реальної геліогеофізичної обстановки від спокійних геомагнітних умов, для яких побудовано регіональну модель іоносфери CERIM IION.

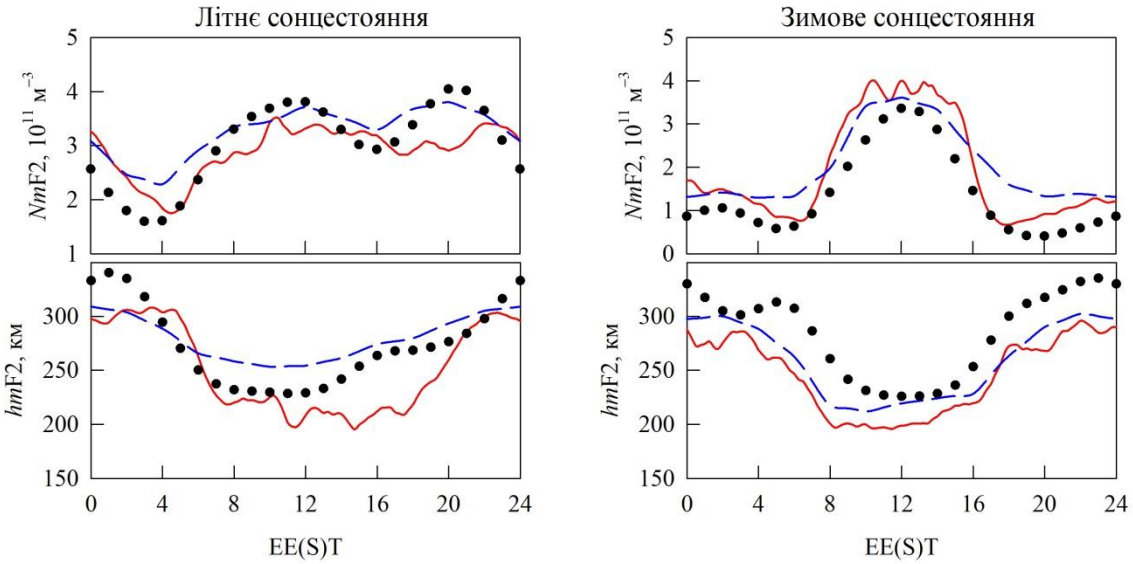


Рис. 3. Добові варіації основних параметрів шару F2 іоносфери в періоди літнього та зимового сонцестоянь

У цілому, подальший розвиток регіональної моделі іоносфери CERIM IION є перспективною задачею. Особливо це затребуване в рамках створення української служби прогнозування космічної погоди. Регіональна модель іоносфери може бути використана для більш точного розрахунку умов поширення радіохвиль у центральноєвропейському регіоні, що дозволить зменшити потужність радіопередавальних пристроїв, поліпшити завадостійкість засобів радіозв'язку, радіолокації та радіонавігації. Зменшення енерговитрат дозволить поліпшити електромагнітну і, тим самим, екологічну обстановку як в Україні, так і Центральній Європі.

Література

1. Picone J.M. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues / J.M. Picone, A.E. Hedin, D.P. Drob, A.C. Aikin // J. Geophys. Res. – 2002. – 107, No. A12. – P. SIA 15 1 – 16.

2. Bilitza D. International Reference Ionosphere 2000 / D. Bilitza // Radio Sci. – 2001. – 36, No. 2. – P. 261 – 275.

3. Lyashenko M.V. Simulation of Seasonal Variations of Electron Concentration in the Ionospheric F2-Peak for Midnight and Noon Local Time / M.V. Lyashenko // Telecommunications and Radio Engineering. – 2005. – 64, № 11. – P. 973 – 980, DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v64.i11.90.

4. Chernogor L.F. Central Europe Regional Ionospheric Model (CERIM IION) Based On The Kharkov Incoherent Scatter Radar Database / L.F. Chernogor, L.Ya. Emel'yanov, M.V. Lyashenko // 36th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods.– Kyiv (17 – 22 August, 2009). – P. 38.

5. Ляшенко М.В. Региональная модель ионосферы CERIM IION: расчет высоты максимума слоя F2 ионосферы / М.В. Ляшенко, А.В. Сидоренко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Радіофізика та іоносфера. – 2017. – № 47. – С. 51 – 56.

УДК 519.85

Павло Камуля, Іван Смолюх, к.т.н. Михайло Стрембіцький
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СТЕНДУ ДЛЯ ПОВІРКИ ЕНКОДЕРІВ

Запропоновано спосіб розробки математичної моделі стенду для повірки енкодерів. Розроблено блок-схему алгоритму роботи стенду. Проведено аналіз роботи стенду в реальному часі.

Ключові слова: повірка, енкодер, математична модель, алгоритм роботи

Pavlo Kamulia, Ivan Smoliukh, Mykhailo Strembitskiy

DEVELOPMENT OF A MATHEMATIC STAND MODEL FOR VERIFICATION OF ENCODERS

The method of developing a mathematical model of the stand for verification of encoders is proposed. The block diagram of the algorithm of the stand's work is developed. The analysis of the stand in real time was carried out.

Keywords: calibration, encoder, mathematical model, algorithm of work

Вступ. Датчики кута повороту (ДКП) або енкодер є одним з основних функціональних елементів сучасних автоматизованих систем керування різноманітними об'єктами. Вони широко використовуються в авіації, суднобудуванні, робототехніці, верстатобудуванні, навігаційному обладнанні. Відповідно виникає потреба контролю таких датчиків.

Мета роботи полягає в розробці математичної моделі стенду для повірки енкодерів, а саме в розробці алгоритму роботи стенду, написання коду програми.

Об'єктом дослідження виступає спроектований стенд для повірки енкодерів в якому використовується два типи енкодерів один з яких є розробка кафедри приладів і контрольно-вимірювальних систем.

Стенд складається з металевої станини, на якій змонтовані на кронштейнах кроковий двигун з редуктором (3), сервопривід (7), досліджуваний енкодер (1) і зразковий енкодер фірми Papperl+Fuchs Gmbh серії Avs58n-032aar0bn-0016 (2).

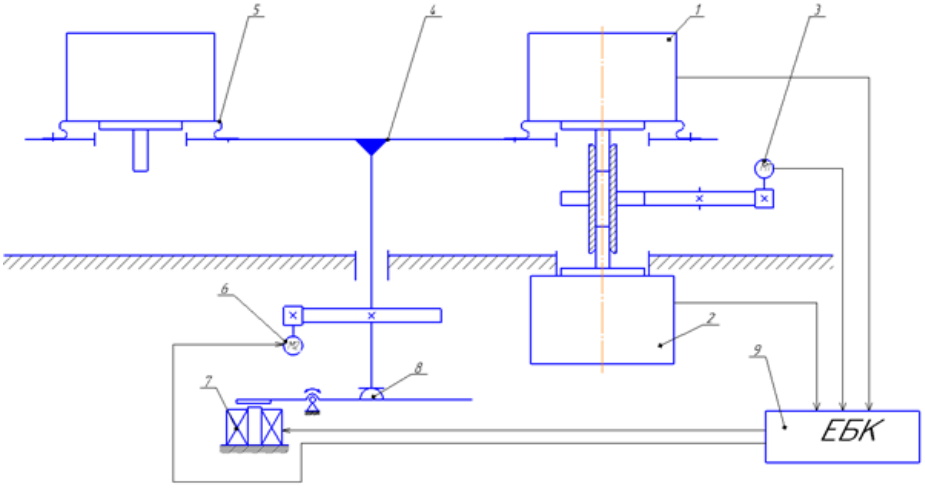


Рис. 1. Функціональна схема стенду для повірки енкодерів

У багатьох областях досліджень явище вивчається не безпосередньо, а опосередковано, через модель. Симулюючи досліджуваний процес на моделі системи, можна отримати нові знання про неї, без втручання в реальну систему і, таким чином, вдосконалити функціонування модельованого об'єкту.

В даному випадку для опису роботи стенду я використовую графічно-математичний засіб моделювання систем і процесів мережі Петрі. Як правило, мережами Петрі моделюють паралельні(синхронні та асинхронні) системи і процеси.

Мережа Петрі є орієнтованим дводольним графом, який має чотири базових елементи: позиції (places),переходи (transitions), вхідні і вихідні дуги (arcs) і маркери (tokens). Позиції позначаються кружками і ідентифікують подію-стан, в якому може знаходитись відповідний вузол модельованої системи.

В нашому випадку для опису роботи стенду мережею Петрі означимо:

- P1-набір давачів що підлягають повірці (для даного випадку кількість давачів становить P1=6).
- P2-монтаж давачів на стенді (під час даної операції оператор монтує на касеті давачі які підлягають повірці).
- P3-фіксація повірочного давача в робочому положенні.
- P4-операція повірки (за допомого електромеханічного блоку відбувається повірка давача на повному діапазоні вимірювання α=360°).
- P5,P6- сортування повірочних давачів (під час даної операції відбувається сортування давачів на придатні та браковані).
- *P7*- індикатор зайнятості стенду.

Придатні давачами вважаються ті, які не перевищують похибку задану виробником. Браковані давачі – перевищують задану виробником похибку, та не підлягають калібруванні.

- *t1*- час, який необхідний оператору для фіксації на робочій поверхні 6 давачів.
  t1 =120±20сек.
- *t2*- час, який необхідний оператору для фіксації повірочного давача в робочому положенні.
  t2=20±10сек.
- *t3*- час, який відповідає повірці одного давача.
  t3=10±5сек.
- *t4,t5* – час який відповідає сортуванню давачів на придатні та браковані .
  t4,t5=5±2сек.

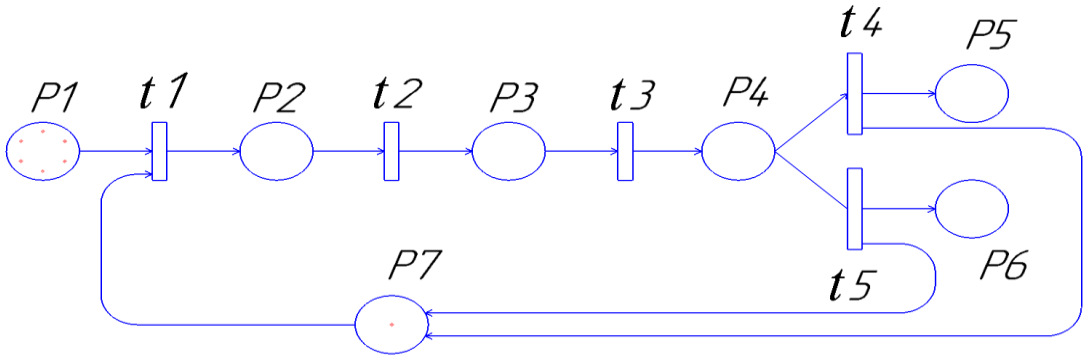


Рис. 2. Стохастична мережа Петрі для імітації роботи стенду для повірки енкодерів

Часи які відповідають переходам *t1-t5* задаються випадковими числами з нормальним розподілом, характеристики якого (математичне сподівання, дисперсія) визначенні експериментально, і залежать від людського фактору.

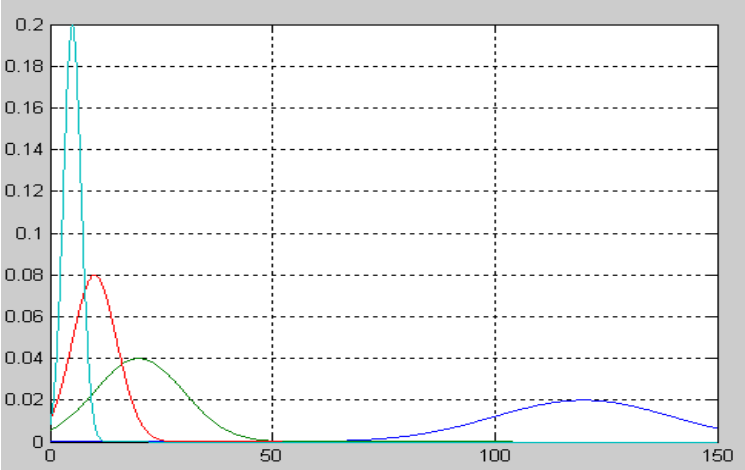


Рис. 3. Графік залежності роботи стенду від імовірності затримок

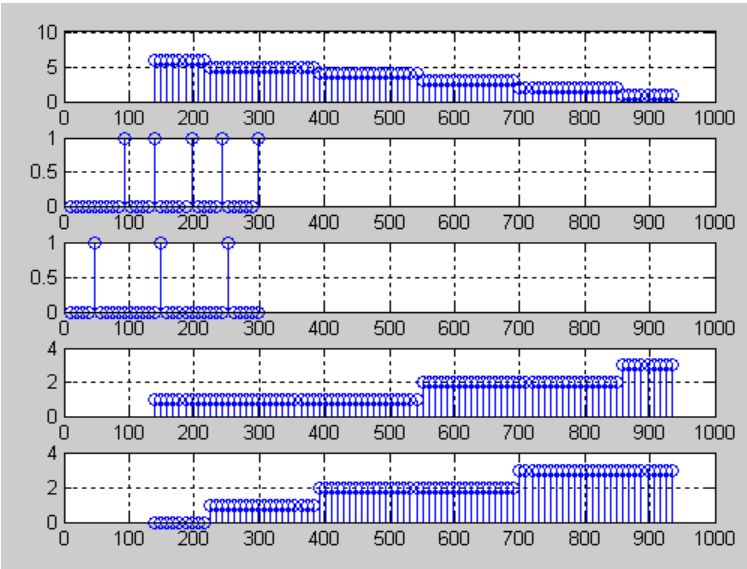


Рис. 4. Графік залежності роботи стенду від часу

Висновки. Симулюючи досліджуваний стенд на розробленій моделі системи, було отримано нові знання. За допомогою даної моделі системи можна, вдосконалити функціонування модельованого об'єкту.

Література

1.Стеценко І.В. Бойко О.В. Технологія імітаційного моделювання систем управління засобами сіток Петрі // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2006.

2. Стеценко І.В., Бойко О.В. Система імітаційного моделювання засобами сіток Петрі // Математичні машини і системи – Київ, 2009.

3.Зайцев Д.А. Математичні моделі дискретних систем: Навчальний посібник //Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004.

УДК 004.912

Вікторія Костенко, Владислав Соколенко, Владислав Саєнко, Дмитро Оболкін
Університет митної справи та фінансів, Україна

ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Показані деякі проблеми, які виникають під час проектування та розробки інформаційних систем. Розглядаються переваги та недоліки при використанні методології USDP/RUP, а також деякі моменти, які б дозволили проводити автоматичне узгодження компонентів в створюваних інформаційних системах.

Ключові слова: інформаційна система, дані, ітеративно-інкрементальна модель розробки ІС, методологія USDP/RUP.

Viktoriia Kostenko, Vladyslav Sokolenko, Vladyslav Sayenko, Dmytro Obolkin

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS

There are considered some problems which arise during the design and development of information systems. Discuss the advantages and disadvantages of using the USDP/RUP methodology, as well as some points that would allow automatic matching of components in the created information systems.

Keywords: information system, data, iterative-incremental model of IS development, USDP/RUP methodology.

Терміном "інформаційне суспільство" сьогодні досить широко користуються для означення деяких визначальних для людського життя змін у сучасному суспільстві, що спричиняються інтенсифікацією в ньому інформаційних потоків на базі розвитку інформаційно-комп'ютерних технологій.

У зв'язку з широкою комп'ютеризацією суспільства на сучасному етапі пред'являються високі вимоги до апаратної частини комп'ютерів, програмного забезпечення та інформаційних систем. Створення і функціонування інформаційної системи – складний і багатоетапний процес, який вимагає чіткої структуризації робіт і певної методології впровадження нових засобів.

У зв'язку з цим пропонується використання поняття життєвого циклу інформаційної системи, який являє собою безперервний процес її побудови та розвитку технічного завдання аж до вилучення з експлуатації.

Кожен етап життєвого циклу включає в себе певний склад, послідовність здійснюваних робіт і їх безпосередні результати. Окремий етап характеризується різними методами і засобами, використовуваними для виконання робіт, а також різними ролями і відповідальністю учасників. Результатом такого детального опису етапів життєвого циклу служить чітко спланований і організований процес колективної розробки інформаційної системи.

Повний життєвий цикл інформаційної системи включає в себе, як правило, стратегічне планування, аналіз, проектування, реалізацію, впровадження та експлуатацію. При цьому життєвий цикл, в свою чергу, може ділитися на стадії.

Але це тягне за собою одну з неприємних проблем – ускладнення (у т.ч. – уповільнення) повноцінного функціонування.

А якщо ж взагалі, то цей поділ є досить варіативним і часто довільним.

На сучасному етапі найбільш поширеними моделями життєвого циклу інформаційних систем є наступні:

• каскадна;

• спіральна;

• інкрементна.

У інкрементній моделі ЖЦ ІС розробка інформаційної системи здійснюється з лінійної послідовністю стадій, але в кілька інкрементів (версій), тобто з запланованим поліпшенням продукту.

При використанні тієї чи іншої моделі важливо зрозуміти, якою мірою вона може бути корисна для тих, хто реально зайнятий експлуатацією інформаційних систем.

Але, використання лише однієї моделі для розробки ІС говорить про «монополізм» (якщо так можна говорити) та однобічність у цій сфері. Використання одних і тих же методів розробки веде до відсутності новизни.

На протязі вже багатьох років спостерігається цікава (і не дуже правильна) тенденція. Полягає вона у тому, що одним з основних способів побудови ІС є так званий спосіб розробки виключно «під себе». Мабуть, пов'язано це з тим, що існують лише загальні принципи та правила побудови ІС. Це є проблемою, адже за такого принципу розробки одну систему буде дуже складно інтегрувати в іншу. А якщо при цьому використовується лише так званий прототип (коли замість повноцінно функціонуючої системи створюється деяка обмежена версія, яка відповідає основним потребам користувачів), то про поняття інтегрування можна взагалі забути. І тим складніше буде розвивати таку систему.

Недосконало або обмежено спроектовані та розроблені системи нівелюють одну з найважливіших особливостей – повноту і достатність циркулюючих в ІС даних. Це призводить до наступних проблем:

– функцій управління не реалізовані до кінця;
– інформації не надається своєчасно;
– порушується достовірність інформації;
– витрати на обробку даних перевищують одержуваний ефект;
– неадаптованість до мінливих інформаційних потреб користувачів.

В основі методології USDP/RUP лежить ідея розробки ПЗ як процесу послідовного створення різних моделей, що рухаються від предметної області і вимог до програмного коду системи – до формальної специфікації ПЗ у вигляді виконуваного коду.

Чим ця методологія є цікавою?

По-перше, процес розробки управляється випадками використання (use cases) створюваної системою – тобто відстеженням тієї функціональності, яка потрібна, значима для користувачів.

По-друге, присутня орієнтація на архітектуру системи.

По-третє, присутня так звана ітеративно-інкрементальна модель розробки – вимоги, архітектура, програмні компоненти та інші артефакти розробляються не за один годину або день, а постійно уточнюються, в результаті чого виявляються нові вимоги до них, нові властивості, може відбуватися їх реструктуризація.

Таким чином відбувається подолання проблем, пов'язаних з складністю та перевантаженістю, а також мінливістю ПЗ.

Є ще одна річ, про яку не треба забувати. Це складність при розробці потреб інформаційної системи. Це дійсно складно. Тому що більшість програмних систем унікальні (індивідуальності клієнтів і компаній-замовників, своєрідність бізнес-ситуації, різні варіації технологій і т.д.).

Що цікаво, у ряді випадків розробники ПЗ, як правило, не є абсолютними фахівцями в тій предметної області, для якої призначене їх ПЗ. А інколи – користувачі і замовник не знають толком, яка система їм потрібна.

Сфера діяльності замовника (де повинна з'явитися замовлена система) може змінюватися. А отже, вимоги схильні змінюватися, поки система розробляється.

Звісно, що створити повне автоматичне узгодження різних візуальних моделей та компонентів в ІС, яка розробляється, неможливо. Занадто великі семантичні та онтологічні "прірви" між ними. Якась доля автоматизації тут, безумовно, можлива. Але це регламентовано тим, що при створенні стійкої моделі вимог і стабільної архітектури ІС всі моделі повинні перероблятися, і, схоже, що не по одному разу (щоб залишитися актуальними).

Потім це принесе свої результати. Наприклад, при внесенні незначних змін в проект, можна легко простежити, що і де потрібно змінити. Але до повного автоматизму ще дуже далеко.

Література

1. Анісімов В.В. Проектування інформаційних систем / В.В. Анісімов – Х.: Вид-тво ДВГУПС, 2006. – 112 с.

2. Кознов Д. В. Основы визуального моделирования / Д.В. Кознов. – М: БИНОМ, 2007. – 248 с.

УДК 004.912

Денис Костенко, Владислав Фрінцко, Вадим Гавриш, Ігор Коноваленко
Університет митної справи та фінансів, Україна

ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ БАЗ ДАНИХ

Показані проблеми, які виникають під час інтеграції даних у інформаційні сховища. Розкрито проблеми рівня семантичної інтеграції даних. Запропоновано деякі способи вирішення зазначених проблем.

Ключові слова: інформаційні сховища даних, дані, семантичний підхід, онтології.

Denys Kostenko, Vladyslav Frintsko, Vadym Gavrish, Ihor Konovalenko

BASIC PROBLEMS OF DATA INTEGRATION

There are considered some problems which arise in data integrating process into information repositories. There are revealed the problems of data semantic integration level. Some ways to solve these problems are suggested.

Keywords: data repositories, data, semantic approach, ontologies.

На сьогодні у світі без зупинки з неймовірною швидкістю розвиваються інформаційні технології. З кожним днем інформації становиться все більше і релевантність запитів стає все менше. Отже, необхідно знайти зручний та не складний метод вирішення цієї проблеми.

Через технічний прогрес та розвиток пошукових технологій відбувається надзвичайне зростання обсягів доступної інформації, яка може бути корисна для вирішення важливих завдань в будь-якій сфері.

Необхідно зазначити, що внаслідок стрімкого розвитку інформаційних технологій та бізнес-процесів у великих компаніях, останнім часом, активно виникає питання не тільки про оптимізацію пошуку у базах даних, але і про проблеми інтегрування даних з однієї інформаційної системи в іншу. Через те що бізнес-середовище досить агресивне сьогодні, в сучасних умовах, все частіше зустрічаються випадки, коли більш великі корпорації поглинають дрібні, або коли фінансове становище однієї компанії погіршується настільки, що вона змушена поступатися більш успішній. Виникає ситуація, коли необхідно інтегрувати дані з декількох баз і помістити в одне єдине сховище для подальшого спільного використання. А це в свою чергу ускладнює процес пошуку.

Процес пошуку має свої особливості, один з яких – це велика ресурсність, вплив великої кількості факторів. Сьогодні існує багато методів вирішення цієї проблеми, але постійний розвиток у цій галузі вимагає постійного покращення. Через це проблема пошуку та обробки інформації завжди є актуальною.

Оптимізація інформаційного пошуку з'явилася ще в період розвитку пошукових систем. Структурні відмінності інформаційних сховищ (особливо при поєднанні декількох) можуть викликати такі проблеми при інтеграції даних:

– проблема неоднорідності, коли використовуються різні моделі даних для різних джерел;

– проблема назв, коли використовується різна термінологія, що призводить до омонімії і синонімії в іменуванні;

– семантичні проблеми, коли обрані різні рівні абстракції для моделювання подібних сутностей реального світу;

– структурні проблеми, коли однакові сутності представляються в різних джерелах з несхожими структурами даних.

Ці відмінності можуть також виражатися у використанні неоднакових типів даних для відображення однакових за змістом атрибутів (номер телефону як числове поле, або як строкове). У різних базах можуть зустрічатися випадки, коли в одній базі атрибут приймає тип даних «домен», а в іншій – «створена таблиця-довідник». Можуть існувати відмінності в одиницях виміру (температура за Цельсієм, Фаренгейтом або за Кельвіном).

Важливими у базах даних є відмінності «домен – група доменів» (наприклад, в одній базі даних адреса зберігається одним рядком, а в іншій існують окремі поля для індексу, міста, вулиці, номера будинку та квартири) і «дані – схема» (наприклад, в одній базі даних «доктор наук» – це значення атрибута «вчений ступінь» відносини «викладачі», а в іншій базі даних «доктор наук» – ставлення, яке містить дані про всіх викладачів з цим вченим ступенем). Для спрощення багатьох моментів існує досить ефективний підхід на семантичному рівні. Семантичний рівень інтеграції ґрунтується на змістовній спорідненості даних, які об'єднуються. Семантична інтеграція ґрунтується на знанні і обліку природи даних. Дані повинні зберігатися разом з метаданими. Це є складніше в реалізації, але значно збільшує комфортність роботи.

Є ще одна важлива проблема – інтеграційні програми не враховують семантику даних. А отже, дані повинні містити в собі описи власної семантики. Це в свою чергу ускладнює процес проектування сховища даних.

Саме в цьому випадку і повинна відбуватися семантична інтеграція, яка дозволить об'єднувати тільки ті дані, які відповідають, або найбільш близькі до одних і тих же сутностей в певній предметній області бази даних. Необхідно бачити не окремі факти, а «всю картину в цілому». Виникає проблема в інтеграції інформації, що зараз носить назву інтеграція інформації підприємства (Enterprise Information Integration, EII).

А вже на рівні семантичної інтеграції виникають такі проблеми:

– протиріччя у визначенні концептів;

– неоднозначність або різночитання імен;

– застосування несумісних метрик;

– протиріччя у визначенні відносин між даними;

– неоднозначність інтерпретації значень.

Онтологія частково вирішує ці проблеми і дає докладну концептуалізацію, яка описує семантику даних. Її функція аналогічна схемі бази даних. Однак мова визначення онтологій синтаксично і семантично багатша, ніж поширені підходи в базах даних. Онтологія надає теоретичний опис предметної області, а не структуру сховища

даних. Оскільки онтологія використовується для спільного використання та обміну інформацією, то вона повинна розділятися і містити узгоджену термінологію.

Отже, потрібно створювати єдину онтологію. Існує два методи формування єдиної онтології:

1) Шляхом розподілу – утворюється шляхом глобального опису концептів, відносин і функцій інтеграції з розподіленими словниками, для специфікації семантики кожного з наборів даних, які підлягають інтеграції;

2) Шляхом інтеграції – передбачає формування і поповнення глобальної онтології як результатів узгодженого об'єднання словникових ресурсів локальних онтологій, сформованих для наборів, даних, що підлягають інтеграції.

Також, для вирішення проблеми необхідно створити алгоритм перевірки отриманої інформації та визначення її змісту.

Література

1. Колисниченко Д.Н. Поисковые системы и продвижение сайтов / Д.Н. Колисниченко – М.: Диалектика, 2014. – 272 с.

2. Маннинг К. Введение в информационный поиск / К. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце – М.: Вильямс, 2011. – 600 с.

3. Wache H. Ontology-Based Integration of Information – A Survey of Existing Approaches / H. Wache, T. Vogele, U. Visser, H. Stuckenschmidt, G. Schuster, H. Neumann and S. Hubner // Proceedings of the IJCAI01 Workshop on Ontologies and Information Sharing, Seattle. – USA, 2001. – P. 108-118.

УДК 66.045:51-74

Роман Коцюрко, Ігор Лучейко, к.т.н., доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ ТИПУ «ЗМІШУВАННЯ–ЗМІШУВАННЯ» ЯК ПРОТОЧНИЙ РЕАКТОР ІДЕАЛЬНОГО ЗМІШУВАННЯ В НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Показано деякі особливості поведінки ідеального теплообмінного апарата типу «змішування – змішування» у режимі гармонічного коливання температури теплоносія на входах апарата.

Ключові слова: теплообмінний апарат, проточний реактор ідеального змішування, гармонічне коливання температури, математичне моделювання.

Roman Kotsiurko, Ig1or Lucheyko

IDEAL "MIXING–MIXING" HEAT EXCHANGER AS CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR AT UNSTATIONARY MODE

Some features of the behavior of the ideal "mixing–mixing" HE in the mode of harmonic temperature fluctuations of the HE at the inputs of the device are shown.

Keywords: heat exchanger, mathematical modeling, continuous stirred-tank reactor, harmonic temperature fluctuations.

Задача Коші, що описує роботу теплообмінного апарату (ТА) типу «змішування–змішування» в нестаціонарному режимі, обумовленому коливаннями температур на входах, має вигляд:

$$\begin{cases} \overline{\tau}_{01}\dfrac{d\Delta\theta_1}{d\overline{\tau}} + (1+A_1)\Delta\theta_1 - A_1\Delta\theta_2 = \Delta\theta_1^{\text{вх}}(\overline{\tau}) \\ \dfrac{d\Delta\theta_2}{d\overline{\tau}} + (1+A_2)\Delta\theta_2 - A_2\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2^{\text{вх}}(\overline{\tau}) \\ \overline{\tau} = 0,\ \Delta\theta_i = 0, \end{cases} \tag{1}$$

де $\overline{\tau}_{0i} = \tau_{0i} / \tau_{02}$ – середній час перебування i-го теплоносія (ТН) в одиницях часу перебування холодного ТН в зоні теплообміну; $\Delta\theta_i^{\text{вх}} = \theta_i^{\text{вх}} - \theta_{0i}^{\text{вх}}$, $\Delta\theta_i = \theta_i - \theta_{0i}$ – абсолютні відхилення температур від номіналів; $\theta_i^{\text{вх}} = T_i^{\text{вх}} / T_{02}^{\text{вх}}$, $\theta_i \equiv \theta_i^{\text{вих}} = T_i / T_{02}^{\text{вх}}$ – відносні температури на входах та виходах апарата; $A_i \equiv A_{0i} = kF / v_i c_i$ – безрозмірні числа перенесення (k – коефіцієнт теплопередачі, F – площа поверхні теплообміну, v_i – об'ємні швидкості потоків, c_i – питомі об'ємні теплоємності ТН). У спрощеному випадку рівності $\overline{\tau}_{01} = \overline{\tau}_{02} = 1$ середніх часів перебування ТН і рівності $\Delta\theta_{i\max}^{\text{вх}} = \mathrm{E}_1^{\text{вх}} = \mathrm{E}_2^{\text{вх}} \equiv \mathrm{E}$ амплітуд гармонічних коливань температури, (1) набуде вигляду

$$\begin{cases} \dfrac{d\Delta\theta_1}{d\overline{\tau}} + (1+A_1)\Delta\theta_1 - A_1\Delta\theta_2 = \mathrm{E}\sin\overline{\omega}\overline{\tau} \\ \dfrac{d\Delta\theta_2}{d\overline{\tau}} + (1+A_2)\Delta\theta_2 - A_2\Delta\theta_1 = \pm\mathrm{E}\sin\overline{\omega}\overline{\tau} \end{cases} \quad \text{при } \overline{\tau} = 0,\ \Delta\theta_i = 0, \tag{2}$$

де $\overline{\omega} = \omega\tau_{02}$ – безрозмірна циклічна частота; знак "+" відповідає синфазному режиму, а знак "–" – протифазному.

У випадку гармонічного збурення температури на входах ТА розв'язки (2) теж гармонічні [1] (усталений режим: $\overline{\tau} \to \infty$)

$$\begin{aligned} \Delta\theta_1 &= Y_1 \cos\overline{\omega}\overline{\tau} + Y_2 \sin\overline{\omega}\overline{\tau}, \\ \Delta\theta_2 &= Y_3 \cos\overline{\omega}\overline{\tau} + Y_4 \sin\overline{\omega}\overline{\tau}, \end{aligned} \tag{3}$$

де амплітуди Y_j складових визначаються зі системи лінійних рівнянь, отриманих підстановкою (3) в (2)

$$\begin{cases} -\overline{\omega}Y_1 + (1+A_1)Y_2 - A_1Y_4 = \mathrm{E} \\ (1+A_1)Y_1 + \overline{\omega}Y_2 - A_1Y_3 = 0 \\ -A_2Y_2 - \overline{\omega}Y_3 + (1+A_2)Y_4 = \pm\mathrm{E} \\ -A_2Y_1 + (1+A_2)Y_3 + \overline{\omega}Y_4 = 0. \end{cases} \tag{4}$$

Головний визначник для (4) рівний (внизу для порівняння наведений головний визначник для системи "проточний реактор ідеального змішування (ПРІЗ) + реакція $\mathrm{A}_1 \leftrightarrow \alpha\mathrm{A}_2$" [1])

$$\begin{gathered} \Delta = \begin{vmatrix} -\overline{\omega} & 1+A_1 & 0 & -A_1 \\ 1+A_1 & \overline{\omega} & -A_1 & 0 \\ 0 & -A_2 & -\overline{\omega} & 1+A_2 \\ -A_2 & 0 & 1+A_2 & \overline{\omega} \end{vmatrix} = \\ = (1+\overline{\omega}^2)(S^2+\overline{\omega}^2),\ S = 1 + A_1 + A_2\ \left[\mathrm{TA}\right], \\ \Delta = \begin{vmatrix} -\overline{\omega} & 1+a_1 & 0 & -a_2 \\ 1+a_1 & \overline{\omega} & -a_2 & 0 \\ 0 & -a_1 & -\overline{\omega} & 1+a_2 \\ -a_1 & 0 & 1+a_2 & \overline{\omega} \end{vmatrix} = \\ = (1+\overline{\omega}^2)(S^2+\overline{\omega}^2),\ S = 1 + a_1 + a_2\ \left[\text{ПРІЗ}\right], \end{gathered} \tag{5}$$

де $S = 1 + A_1 + A_2$ – деяке сумарне число перенесення. При відсутності теплообміну $A_i = 0 \Leftrightarrow k = 0 \Rightarrow S_{\mathrm{TA}} = 1$ – число перенесення ТА як апарата.

Як видно з (5), для системи "проточний ТА ідеального змішування + теплопередача" головний визначник за формою та значенням ідентичний визначнику системи "ПРІЗ + реакція $\mathrm{A}_1 \leftrightarrow \alpha\mathrm{A}_2$": $S = 1 + a_1 + a_2 \Rightarrow S_{\text{ПРІЗ}} = 1$ ($a_i = \partial\overline{w}_{0i} / \partial c_{0i}$ – статичні чутливості швидкостей $\overline{w}_{0i}$ реакцій порядків n_i до квазістаціонарних змін концентрацій c_{0i} [1]). Отже, в цьому аспекті теплопередачу можна розглядати як деяку "теплову реакцію".

Література

1. Лучейко І.Д., Ямко М.П., Гумницький Я.М. Частотні характеристики проточного реактора ідеального змішування при малих збуреннях концентрації реагенту (реакція $\mathrm{A}_1 \leftrightarrow \alpha\mathrm{A}_2$) // Вісник ТДТУ ім. І. Пулюя. – 2006. – № 3. – С. 195-204.

УДК 655-225

Микола Луцків, д.т.н., проф., Олег Сідікі, аспірант
Українська академія друкарства, Україна

СИНТЕЗ ТОНОПЕРЕДАВАННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ФЛЕКСОГРАФІЇ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ КВАДРАТНОЇ ФОРМИ

Розроблено аналітичний метод та інформаційну технологію синтезу тонопередавання флексографічної друкарської системи для растрових елементів квадратної форми, визначено параметри коригувальної ланки. Побудовано структурну схему симулятора синтезу, подані результати імітаційного моделювання.

Ключові слова: флексографічна система, тонопередавання, синтез, коригування, растрування, нелінійність, точність, моделювання.

Mikola Lutskiv, Oleg Sidiki

SYNTHESIS OF TONO-TRANSFORMATION OF REDUCING IMAGES IN THE FLEXOGRAPHY FOR ELEMENTS OF QUADRATIVE FORM

The analytical method and information technology of synthesis of tone transfer of flexographic printing system for raster elements of square form are developed, parameters of correction level are determined. The structural scheme of the synthesis simulator is constructed, the results of simulation modeling are presented.

Keywords: flexographic system, tone translation, synthesis, correction, rasterization, nonlinearity, accuracy, modeling.

Традиційні методи синтезу тонопередавання у флексографії ґрунтуються на основі практичного досвіду і експериментальних даних конкретної друкарської системи і є однопараметричними, тому неможливо здійснити оптимізацію тонопередавання і підвищити якість.

Розглянемо задачу синтезу тонопередавання у загальному плані, яка описується кількістю фарби на поверхні лінійної растрової шкали відбитка.

$$V(x) = S_k(x)H(x), \tag{1}$$

де S_k(x) – скоригована площа растрових елементів на заданому інтервалі тонопередавання, x – геометричний розмір растрового елемента, $H(x)$ – товщина шару фарби на поверхні шкали.

Товщина фарби на поверхні растрових елементів шкали на відбитку залежить від інтервалу тонопередавання і схеми друкарської системи.

$$H(x) = F_c(x, S_k,)H_0, \tag{2}$$

де $F_c(\,)$ – функція, що описує залежність товщини фарби від інтервалу тонопередавання, H_0 – товщина потоку фарби, що подається на вхід моделі друкарської системи.

Скореговане значення площі растрових елементів на заданому інтервалі тонопередачі:

$$S_k(x) = F_k(x, S, E), \tag{3}$$

де $F_k(\,)$ – шукана функція коригувальної ланки, $E = V_o - V(x)$ – відхилення кількості фарби від заданого значення V_0.

При моделюванні налагоджували параметри моделі друкарської системи на номінальні параметри. Задавали коефіцієнти передачі прямих і зворотних потоків

фарби $\alpha_i = \gamma_i = 0{,}5$, $\beta = 0{,}8$. Подали на вхід моделі товщину фарби $H_0 = 15$ мкм, задали лініатуру растра 50 лін/см.

Результати імітаційного моделювання подані у вигляді графічної залежності (товщини фарби від діапазону тонопередавання, яка зменшується від 6 мкм до 3,58 мкм.

Побудована характеристика тонопередавання вихідної системи, яка є вигнутою кривою і розміщається нижче лінійної. Найбільше відхилення тонопередавання від лінійного є на середніх тонах, максимальне значення відхилення становить -75,8%, що не відповідає технічним вимогам. Здійснили синтез тонопередавання і визначили параметри коригувальної ланки. Характеристика тонопередавання близька до лінійної. Для кількісної оцінки якості синтезу визначили відхилення скоригованого тонопередавання від лінійного. Результати імітаційного моделювання подані на рис. 1

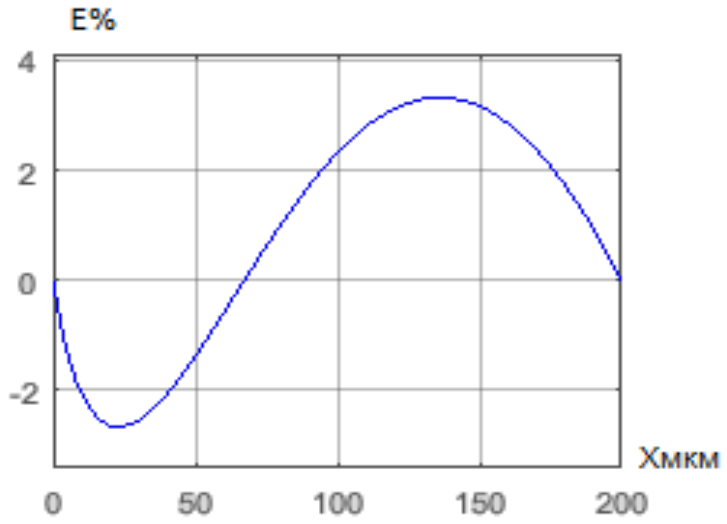


Рис. 1. Відхилення скоригованого тонопередавання від лінійного

Відхилення тонопередавання після коригування є близьке до від'ємної синусоїдальної кривої; найбільше відхилення від лінійного є на світлих тонах і становить -2,63%, а на сірих +3,22%, що не відповідає нормативним вимогам щодо синтезу якісної книжкової і журнальної продукції. Побудована модель тонопередавання і симулятор двопараметричного синтезу можуть слугувати для визначення параметрів коригувальної ланки і побудови характеристик тонопередавання, які можна застосовувати при організації тоновідтворення, зокрема суміщення інтервалів густин оригінала і растрового відбитка.

УДК 004

Тарас Лечаченко
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДУАЛЬНІЙ ОСВІТІ

У тезах проаналізовано законодавчі ініціативи впровадження дуального навчання в Україні. Висвітлено причини необхідності інформаційної технології дуального навчання. Проаналізовано використання цифрових технологій в дуальному навчанні. Окреслено складові інформаційної технології дуального навчання.

Ключові слова: інформаційна технологія, дуальне навчання, цифрові технології, професійна освіта.

Taras Lechachenko

INFORMATIONAL TECHNOLOGIES IN DUAL EDUCATION

The thesis analyzes the legislative initiatives for the introduction of dual education in Ukraine. The reasons for the need for information technology of dual education are highlighted. The use of digital technologies in dual education has been analyzed. The components of information technology of dual education are outlined.

Keywords: information technology, dual education, digital technologies, vocational education

Економічний розвиток країни залежить від багатьох факторів. Згідно традиційних економічних моделей до основних факторів економічного зростання належать капітал праця та науково-технічний прогрес. Ефективність праці в свою чергу також є комплексною категорією. Основою ефективної праці є навички та компетентність працівників. Тому питання забезпечення якості освіти для держави є пріоритетним. Зараз в Україні відбувається реформа професійної освіти. Зокрема, Міністерством освіти і науки України розроблено проект Закону України «Про професійну (професійно-технічну) освіту» [1]. До ключових нововведень у реформуванні освіти можна віднести впровадження дуальної форми навчання. Так, 19 вересня 2018 року Кабінетом міністрів України затверджена Концепція підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти [2]. Дуальна освіта є поєднанням навчання на робочому місці та навчальному закладі за принципом чергування місць навчання. У Законі України Про освіту дається таке визначення дуальної форми здобуття освіти: це спосіб здобуття освіти, що передбачає поєднання навчання осіб у закладах освіти (в інших суб'єктів освітньої діяльності) з навчанням на робочих місцях на підприємствах, в установах та організаціях для набуття певної кваліфікації, як правило, на основі договору [3].

Українська система вищої та професійної освіти потребує реформування та оновлення. Погіршення якості вітчизняної освіти пов'язане із втратою зв'язку між ринком праці та освітнім сектором. Дуальна форма навчання є ланкою яка об'єднує дві системи, які оновлюється від взаємодії. Дуальна форма навчання приносить ефект для зацікавлених сторін: компаній, студентів, держави. Вигоди для студента: можливість працювати (отримувати зарплату) та навчатися, висока імовірність працевлаштування після закінчення навчання, формування комплексних компетенцій. Вигоди для роботодавця: зменшення витрат на рекрутинг кадрів та адаптацію персоналу, зменшення витрат на оплату праці в період навчання, формування резерву кадрів, підвищення продуктивності. Вигоди для держави: розділення витрат із фінансування освіти між роботодавцем, оновлення освітніх програм (завдяки участі роботодавців у навчанні), зменшення безробіття серед молоді, зростання економіки.

Відмічаючи позитивні аспекти дуальної форми навчання варто зауважити, що ефективність від поєднання двох систем (робочого середовища та навчання) залежить від використання в їх основі інформаційної технології.

Реалізація роботи та співпраці в межах системи дуального навчання між зацікавленими сторонами у Німецькій моделі дуального навчання представлена на трьох рівнях [4]: макрорівень, екзорівень та мезорівень. На макро та екзорівні створюється та розвивається законодавче регулювання та управління навчанням в середині компанії та у професійних школах із залученням преставників роботодавців та працівників. На мезорівні (інституційному рівні) компанії відповідальні за весь успіх професійного навчання, в свою чергу професійні школи несуть віповідальність за надання навчання в середині школи. Німецька система дуального навчання демонструє високий ступінь інституціоналізованої співпраці на макрорівні та екзорівні. Навчання на підприємстві і у професійній школі на мезо-рівні, навпаки, слабо пов'язані [4]. Не дивлячись на даний факт, система виправдала себе як ефективний інструмент для підвищення зайнятості серед молоді та підготовки кваліфікованих фахівців із професійною освітою. Простір автономії та гнучкості на мезорівні робить можливим удосконалення та зміцнення підходів до співпраці між викладачами та майстрами із різних середовищ навчання (робочого та освітнього) і застосування технологій для ефективного засвоєння знань студентами. Як зазначалося вище, основою налагодження зв'язку між різними локаціями навчання є інформаційна технологія. Серед складових елементів можна виділити: технічне забезпечення, програмне та власне педагогічну технологію, яка реалізується, зокрема і в складових інформаційної технології.

Серед проаналізованих досліджень наводяться такі приклади використання цифрових технологій [5]:

- навчання із використанням мобільних платформ (відтворення відео демонстрацій прикладів виконання роботи на мобільних пристроях);
- цифрове середовище навчальної майстерні (дизайн інтерфейсу базувався на об'єктній мультимедійній системі потоку);
- змішане навчання (електронне);

Функціонування інформаційної технології як цілісної системи залежить від наявності та ефективності роботи зворотнього зв'язку. Підтвердження цього є дослідження (проведене в Ірландії) впливу ведення студентами онлайн щоденників у платформі Moodle на успішність навчання, у яких були відображені щотижневі, короткі із 300 слів повідомлення. Зміст повідомлення відображав відповіді на наступні питання: що ви дізналися на цьому тижні? Які зміни ви намагалися зробити у своїй ролі - що спрацювало, що ні і чому? Що можна покращити і як? Що б ви робили по-іншому? Онлайн щоденики допомагали викладачеві зрозуміти прогрес студентів у навчанні. Відмічається, що ведення онлайн щоденника сприяло більш глибокій взаємодії між студентами та змістом. Більшість студентів могли ефективно передавати своє розуміння модуля з короткими прикладами того, як теорія застосовується до їх ролі в страховій галузі (спеціальність студентів в якій проводився експеримент) [6].

Результати аналізованого дослідження показують важливість контакту студентів із викладачем пересікаючи кордони різних локацій, робочого місця та навчального закладу. Реалізація такої співпраці є утворення єдиного іформаційного простору між різними суб'єктами навчального процесу. Тому ефективність співпраці у дуальному навчанні визначається складовими елементами інформаційної технології, до яких, зокрема відносится і педагогічна технологія.

Освітній процес у навчальному закладі має включати аналіз робочих ситуацій які мали місце під час навчання у компанії, моделювання ситуацій на різних рівнях із включенням різних процесів у яких задіяний учень на робочому місці.

Даному типу навчанню відповідає концепція навчання науковця О.В. Кареліної [7] яка у свої статті пропонує концепцію інтердіяльнісного навчання. Інтердіяльнісне навчання – це навчання у середовищі тієї діяльності, яку потрібно зрозуміти і опанувати. Інтердіяльнісне навчання – це вивчення діяльності через занурення у цю діяльність. Адекватні методи для інтердіяльнісного навчання надають інтерактивні педагогічні технології. Як бачимо, інтердіяльнісне навчання нетотожне інтерактивному, оскільки засобами інтерактивного навчання можна опановувати не лише діяльність, але і теоретичні основи наук. Діяльнісне навчання є ширшим поняттям, ніж інтердіяльнісне, оскільки засобами діяльнісного навчання можна реалізувати вивчення різних дисциплін, не обов'язково пов'язаних із практичною діяльністю. Автор зазначає, що поняття «інтердіяльнісне навчання» доцільно ввести для професійної освіти, провідною метою якої є оволодіння фаховою діяльністю [7].

Таким чином, технічне забезпечення, програмне середовище та педагогічна технологія інтердіяльнісного навчання є основою ефективної реалізації співпраці між зацікавленими сторонами та засвоєння знань студентами у дуальному навчанні.

Література

1. МОН пропонує до громадського обговорення проект Закону України «Про професійну (професійно-технічну) освіту» – [Електронний ресурс]. – – Режим доступу: https://mon.gov.ua/ua/news/mon-proponuye-do-gromadskogo-obgovorennya-proekt-zakonu-ukrayini-pro-profesijnu-profesijno-tehnichnu-osvitu

2. Про схвалення Концепції підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти: Розпорядження від 19 вересня 2018 р. № 660-р Київ. Кабінет міністрів України. Урядовий портал – [Електронне джерело] – Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/pro-shvalennya-koncepciyipidgotovki- fahivciv-za-dualnoyu-formoyu-zdobuttya-osviti

3. Закон України «Про освіту». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19

4. Gessler M., The lack of collaboration between companies and schools in the German dual apprenticeship system: historical background and recent data.International journal for research in vocational education and training 4 (2017)2, S. 164-195. https://www.pedocs.de/volltexte/2017/14956/pdf/IJRVET_2017_2_Gessler_The_lack_of_collaboration.pdf

5. Ferns, S, Hickey, R, Hynes, D, Keyes, M, Ryan, R & Smith, J [2017], 'Using digital technologies in the training of craft apprentices: is this the future?', in Modern apprenticeships: widening their scope, sustaining their quality: proceedings of the seventh research conference of the International Network for Innovative Apprenticeships, eds R I Lerman & E A Okoli, [International Network on Innovative Apprenticeship], [Washington], viewed 30 May 2019, <http://www.inap.uni-bremen.de/dl/inap%20conference%20proceedings%202017.pdf#page=74>.

6. Doherty, A, [2017], 'Using reflective online diary entry to enhance teaching, learning and assessment in online apprenticeships: pedagogy perspective', in Modern apprenticeships: widening their scope, sustaining their quality: proceedings of the seventh research conference of the International Network for Innovative Apprenticeships, eds R I Lerman & E A Okoli, [International Network on Innovative Apprenticeship], [Washington], viewed 30 May 2019, <http://www.inap.uni-bremen.de/dl/inap%20conference%20proceedings%202017.pdf#page=86>.

7. Кареліна О. В. Концепція інтердіяльнісного навчання //Педагогічний процес: теорія і практика (Серія: Педагогіка). – 2016. – №. 4 (55). – С. 12-16.

УДК 655.225

Микола Луцків, д.т.н., проф., Гунько Данило, аспірант
Українська академія друкарства, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РАСТРУВАННЯ НА ОСНОВІ НОРМОВАНОГО РАСТРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ КРУГЛОЇ ФОРМИ

Розроблено модель для розрахунку і побудови характеристик растрового перетворення для елементів круглої форми, подані результати імітаційного моделювання, побудовані характеристики растрування для різної частоти і проаналізовано їх властивості.

Ключові слова: растрове перетворення, нормування, растрова точка, моделювання, характеристики, нелінійність, відхилення, якість.

Mikola Lutskiv, Danylo Hunko

DETERMINATION OF PLANNING PROPERTIES ON THE BASIS OF NORMAL REDUCTION FOR ELEMENTS OF A ROUND FORM

The model for calculating and constructing the raster transformation characteristics for circular elements is developed, simulation modeling results are presented, plotting characteristics for different frequency are constructed and their properties analyzed.

Keywords: bitmap transformation, normalization, raster point, modeling, characteristics, nonlinearity, deviation, quality.

Вдосконалення традиційної поліграфічної технології перетворення неперервного зображення у растрову форму із врахуванням особливостей зорового сприйняття зображень потребує розвитку математичного моделюваня растрового перетворення в контексті подальшого коригування із врахуванням частоти раструі різних технологічних впливів при виготовленні форму і друкуванні, тому є актуальним науковим завданням. У роботі авторів [1] запропоновано новий підхід до описання растрування на основі нормованого растрового перетворення. Щоб узагальнити аналіз і синтез, запропоновано математичну модель нормованого растрового перетворення у вигляді двомісної функції з областю визначення одиничним замкнутим квадратом із множиною значень площі растрових елементів з одиничним інтервалом [$0 \le S_H \le 1$]. Растровий елемент круглої форми розташований у центрі одиничного квадрата. В процесі растрового перетворення змінюються геометричні розміри колового елемента , які подано радіусом який змінюється в межах [$0 \le X_H \le 0{,}5$]. Прийнявши геометричні розміри растрового елемента за аргумент, запишемо функцію градаційного перетворення для першого інтервалу.

$$S1_H = \pi X_H^2, \text{якщо } 0 \le X_H \le 0{,}5 \qquad (1)$$

де X_H – нормована просторова змінна (аргумент), 0,5 – половина сторони одиничного квадрата.

При подальшому збільшенні радіусу растрового елементу він втрачає форму кола , її поверхня почтупово обмежується одиничним квадратом, а радіус прямує до свого максимального значення – половини діагоналі квадрата. $X_M = \sqrt{2} * 0{,}5 = 0{,}707$Тоді площа растрового елемента стає площею фігури, яку відсікає одиничний квадрат від круга і може бути описана виразом [1].

$$S2_H = \pi X_H^2 - 4X_H^2 arctg\sqrt{\frac{X_H^2}{0{,}5^2} - 1} + 4 * 0{,}5^2\sqrt{\frac{X_H^2}{0{,}5^2} - 1} \quad (2)$$

Якщо $0{,}5 \le X_H \le 0{,}707$.

Тоді функція градаційного перетворення є площею, яка є носієм інформації для нормованого растрового перетворення

$$S_H = S1_H + S2_H \quad (3)$$

На основі виразів (1) і (2) робимо висновок що основна характеристика растрового перетворення є нелінійною S-подібною кривою. Для оцінки нелінійності перетворення запропоновано визначити відхилення характеристики від лінійної.

$$S = [S_H - S_o]100\% \quad (4)$$

Де S_o – лінійна характеристика

Нормоване растрове перетворення є зручним для аналізу і синтезу у результаті якого відносно просто можна скоригувати вихідну характеристику на бажану. Наприклад, лінійну, випуклу чи вигнуту, щоб скомпенсувати різні впливи в процесі виготовлення форми і друкування. Однією з основних властивостей нормованого растрового перетворення є масштабування, що дає можливість відносно просто будувати характеристики растрування для різної лініатури. Для цього спочатку необхідно визначити максимальний розмір растрового квадрату заданої лініатури.

$$X_M = \frac{10000}{L}\,[\text{мкм}] \quad (5)$$

Де L – лініатура растру подана в лініях на сантиметр. Масштаб для переключення діапазонів растрування

$$M = \frac{10000}{1{,}41L}\,[\text{мкм}] \quad (6)$$

Тоді задати масштаби діапазонів растрування

$$0 \le M_1 \le M; \quad M \le M_2 \le X_M \quad (7)$$

На основі викладеного в пакеті Matlab:Simulink розроблено симулятор для розрахунку характеристик растрового перетворення різної лініатури.
Для прикладу задали лініатуру 30, 40, 50, 80 лін/см. Результати імітаційного моделювання подані на рис.1.

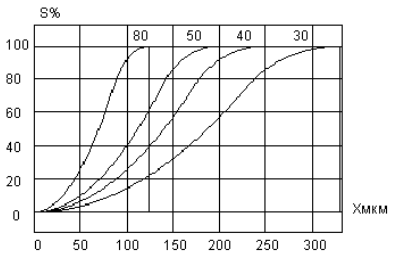


Рис. 1. Характеристики растрового перетворення у відносних одиницях для елементів різної лініатури

Характеристики растрового перетворення є S- подібними кривими. Зменшення лініатури растра викликає зміщення (розширення) характеристики праворуч. Максимальне відхилення характеристики від лінійної не залежать від лініатури. На початку діапазону відхилення є відємним, поступово збільшується, досягає мінімального значення – 15,9%, переходить через О, поступово збільшується, досягаючи максимуму – 11,2% і в кінці інтервалу прямує до нуля. Нелінійність растрового перетворення викликає спотворення, що вимагає коригування.

УДК 602.1:519.85:53.082.9:616-07

В.П. Марценюк[1], д.т.н., проф., А.С. Сверстюк[2], к.т.н., доц., Я.В. Литвиненко[3], к.т.н., доц., Н.В. Козодій[4]

[1]Університет в Бельсько Бяла, Польща
[2]Тернопільський державний медичний університет імені І.Я. Горбачевського, Україна
[3]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІОСЕНСОРНИХ ТА ІМУНОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ

В роботі розглянуто математичні моделі біосенсорних та імуносенсорних динамічних систем у вигляді диференціальних рівнянь в частинних похідних. Запропоновано моделі для оптимізації розробки біосенсорів, модель біосенсора в циліндричних координатах, на основі використання кінетики Міхаеліса-Ментена та рівнянь реакції-дифузії. Розроблена модель імуносенсора у вигляді решітчастих деференціальних рівнянь із запізненням. Побудова моделі грунтується на ряді біологічних припущень щодо взаємодії колоній антигенів та антитіл, а також дифузії антигенів. Для опису дискретних в просторі колоній, локалізованих у відповідних пікселях, використовується апарат решітчатих диференціальних рівнянь.

Ключові слова: біосенсор, імуносенсор, решітчасті диференціальні рівняння, диференціальні рівняння із запізненням.

V.P. Martsenyuk, A.S. Sverstiuk, Y.V. Lutvunenko, N.V. Kozodii

MATHEMATICAL MODELING OF BIOSENSOR AND IMMUNOSENSOR SYSTEMS

The mathematical models of biosensory and immunosensory dynamical systems in the form of differential equations in partial derivatives are considered in this paper. Models for optimizing the development of biosensors, a biosensor model in cylindrical coordinates, based on the use of Michaelis-Menten kinetics and reaction-diffusion equations are proposed. A model of the immunosensor in the form of lattice partial differential equations with delay was developed. The construction of the model is based on a number of biological assumptions about the interaction of colonies of antigens and antibodies, as well as the diffusion of antigens. For the description of discrete spaces in the space of the colonies, localized in the corresponding pixels, the apparatus of lattice differential equations is used.

Keywords: biosensor, immunosensor, lattice differential equations, differential equations with delay

Вступ. Протягом останніх років спостерігаємо стрімкий розвиток науки і техніки, що зумовило появу нових методів детекції, зокрема в області дослідження колоній антигенів та антитіл. Тому в науці та промисловості зростає інтерес до біосенсорів. Біосенсори є альтернативою до загальновикористовуваних методів вимірювання, які характеризуються поганою вибірковістю, високою вартістю, поганою стійкістю, низьким відгуком і переважно можуть використовуватися лише високодосвідченим персоналом. Біосенсори – це аналітичні прилади, які перетворюють процеси біохімічних реакцій у фізичну величину, яку можна виміряти. У своїй конструкції вони використовують біологічні матеріали, які надають високу вибірковість, селективність, точність, дають змогу здійснювати швидкі і прості вимірювання [1].

В роботі розглядаються підходи щодо моделювання біосенсорів у вигляді диференціальних рівнянь в частинних похідних.

Розглянемо моделі біосенсорів.

Модель для оптимізації розробки біосенсорів.

Оптимізаційні методи проектування [15] біосенсорів вимагають математичного моделювання. Припускаючи симетричну геометрію біосенсора і однорідний розподіл іммобілізованого ферменту та реакції зв'язування в ферментному шарі, з одновимірною в просторі дифузією, яка описана другим законом Фіка, наведемо рівняння реакції такого типу дифузії $(0 < z < d_1, \quad t > 0)$.

Модель біосенсора в циліндричних координатах.

У роботі [2] розглянуто математичну модель біосенсора, що описує кінетичні властивості бактеріальних ферментативних реакцій у відповідь на токсичні хімічні речовини та отриману електроактивну дифузію молекули в мініатюрній електрохімічній комірці електроду. Модель характеризує генерований електричний струм, як функцію бактерій та концентрацій токсинів, електрохімічних розмірів комірок та електроду.

Для того, щоб розрахувати поточний струм як функцію часу, зімітовано дифузію молекул електрохімічно активного продукту ферментативної реакції з концентрацією $C_0(r,z,t)$.

Модель біосенсора, яка використовує кінетику Міхаеліса-Ментена.

У роботі [3] розглядається модель біосенсора, яка включає в себе три області: ферментний шар (ферментна мембрана), де відбувається ферментативна реакція; шар транспортування масопередачі, шляхом дифузії обох сполук (субстрату S і продукту P), через напівпроникну мембрану; конвективна область, де концентрація аналіту підтримується постійною.

Припускаючи симетричну геометрію обох мембран та однорідний розподіл іммобілізованого ферменту в ферментному шарі доцільно використати двохкомпартментну математичну модель. Динаміку концентрацій субстрату S, а також продукту P у ферментному шарі можна описати системою рівнянь реакції-дифузії $(\mathrm{t} > 0)$.

Модель біосенсора на основі рівнянь реакції-дифузії.

Зв'язування каталітичної реакції каталази та пероксидази в ферментативному шарі з дифузією в одновимірному просторі, описано законом Фіка, приводить до наступних рівнянь реакції-дифузії, що описують роботу біосенсора [4] в ферментативному шарі $(0 < x < d_e, \quad t > 0)$:

Дифузійний шар розглядається як дифузійний шар Нернста [5]. За підходом Нернста шар товщиною d_d залишається незмінним з часом. Зроблено припущення, що розчин знаходиться в русі з однорідною концентрацією в дифузійному шарі.

Модель імуносенсора у вигляді решітчастих деференціальних рівнянь

В моделях решітчастих диференціальних рівнянь просторова структура має дискретний характер. Решітчаста динаміка широко використана в задачах [6, 7], оскільки середовища, в яких популяційні види живуть, можуть бути дискретними, а не неперервними.

Решітчаста модель взаємодії антеген-антитіло для двовимірного масиву біопікселів.

Нехай $V_{i,j}(t)$ – концентрація антигенів, $F_{i,j}(t)$ – концентрація антитіл в біопікселі (i, j), $i, j = \overline{1, N}$.

Модель грунтується на таких біологічних припущеннях для довільного біопікселя (i, j).

1. Маємо деяку константу народжуваності, $\beta > 0$ для популяції антигенів.

2. Антигени нейтралізуються антитілами з деякою ймовірнісною швидкістю $\gamma > 0$

3. Популяція антигенів прагне до деякої межі насичення з швидкістю $\delta_\upsilon > 0$.

4. Ми маємо деяку дифузію антигенів з чотирьох сусідніх пікселів $(i-1, j)$, $(i+1, j)$ $(i, j-1)$, $(i, j+1)$, з швидкістю дифузії $D\Delta^{-2}$, де $D > 0$ і $\Delta > 0$ є відстань між пікселями.

5. Ми маємо деяку сталу смертності антитіл $\mu_f > 0$.

6. В результаті імунної відповіді ми збільшуємо щільність антитіл з ймовірнісною швидкістю $\eta\gamma$.

7. Популяція антитіл прагне до деякого рівня насичення з швидкістю $\delta_f > 0$.

8. Імунна відповідь з'являється з деякою сталою затримкою в часі $\tau > 0$.

На основі цього ми розглядаємо просту конструкцію моделі антиген-антитіло із запізненням, для двохвимірного масиву біопікселів, яка грунтується на добре відомій моделі Марчука [8], [9, 10], і використовує просторовий оператор $\hat{S}$, запропонований в роботі [11]:

Висновки та перспективи подальших досліджень. Математичні моделі біосенсорів та імуносенсорів повинні враховувати просторово-часові властивості пристроїв, в яких використовується детектор. Відносно просторової організації досліджувана модель повинна грунтуватися на певній дискретній структурі, яка буде враховувати взаємодію пікселів імуносенсора.

У роботі розглянуто підходи до розробки математичних моделей біосенсорів та імуносенсорів у вигляді диференціальних рівнянь в частинних похідних, які б враховували біологічні припущення щодо основних компонент пристрів – симетричну геометрію біосенсорів і однорідний розподіл іммобілізованого ферменту та реакції зв'язування в ферментному шарі, кінетичні властивості бактеріальних ферментативних реакцій, кінетику Міхаеліса-Ментена, колонії антигенів і антитіл, локалізованих у пікселях, дифузії колонії антигенів між пікселями

В роботі запропонована модель імуносенсора, яка грунтується на системі решітчатих диференціальних рівнянь із запізненням. Побудова моделі ґрунтувалася на ряді біологічних припущень щодо взаємодії колоній антигенів та антитіл, а також дифузії антигенів. Для опису дискретних в просторі колоній, локалізованих у відповідних пікселях, використано апарат решітчатих диференціальних рівнянь.

В подальших дослідженнях планується провести дослідження стійкості моделей біосенсорів та імуносенсорів на основі частинних похідних та решітчастих диференціальних рівнянь із запізненнням.

Література

1. L. Mosinska, K. Fabisiak, K. Paprocki, M. Kowalska, P. Popielarski, M. Szybowicz, A. Stasiak, et al., "Diamond as a transducer material for the production of biosensors,"

Przemysl Chemiczny, vol. 92, no. 6, pp. 919–923, 2013.

2. Rachela Popovtzer, Amir Natan, Yosi Shacham-Diamand, Mathematical model of whole cell based bio-chip: An electrochemical biosensor for water toxicity detection, Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 602, Issue 1, 2007, Pages 17-23, ISSN 1572-6657, https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2006.11.022.
3. Romas Baronas, Nonlinear effects of diffusion limitations on the response and sensitivity of amperometric biosensors, Electrochimica Acta, Volume 240, 2017, Pages 399-407, ISSN 0013-4686, https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.04.075.
4. Martsenyuk V. P. Study of classification of immunosensors from viewpoint of medical tasks [Text] / V. P. Martsenyuk, A. Klos-Witkowska, A. S.Sverstiuk // Medical informatics and engineering. – 2018. – № 1(41). – P.13-19.
5. Mikhail A. Vorotyntsev, Anatoly E. Antipov, Reduction of bromate anion via autocatalytic redox-mediation by Br2/Br− redox couple. Theory for stationary 1D regime. Effect of different Nernst layer thicknesses for reactants, Journal of Electroanalytical Chemistry, Volume 779, 2016, Pages 146-155, ISSN 1572-6657, https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.06.004.
6. Martsenyuk V. Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay / A. Klos-Witkowska, A. Sverstiuk // Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations: No. 2018(27), p. 1-31.
7. A. Hoffman, H. Hupkes, and E. Van Vleck, "Entire solutions for bistable lattice differential equations with obstacles," 2017.
8. V. Marzeniuk, "Taking into account delay in the problem of immune protection of organism," Nonlinear Analysis: Real World Applications, vol. 2, no. 4, pp. 483–496, 2001, cited By 2. doi: 10.1016/S1468-1218(01)00005-0.
9. G. Marchuk, R. Petrov, A. Romanyukha, and G. Bocharov, "Mathematical model of antiviral immune response. i. data analysis, generalized picture construction and parameters evaluation for hepatitis b," Journal of Theoretical Biology, vol. 151, no. 1, pp. 1–40, 1991, cited By 38. doi: 10.1016/S0022-5193(05)80142-0.
10. A. Nakonechny and V. Marzeniuk, "Uncertainties in medical processes control," LectureNotes in Economics and Mathematical Systems, vol. 581, pp. 185–192, 2006, cited By 2.doi: 10.1007/3- 540- 35262- 7_11. [Online]. Available: https://www.scopus.com/inward / record . uri? eid = 2 - s2 . 0 - 53749093113 & doi = 10 . 1007 % 2f3 - 540 - 35262 - 7_11&partnerID=40&md5=03be7ef103cbbc1e94cacbb471daa03f.
11. Martsenyuk V.P. On principles, methods and areas of medical and biological application of optical immunosensors [Text] / V. P. Martsenyuk, A. Klos-Witkowska, A. S. Sverstiuk, T. V. Bihunyak // Medical informatics and engineering. – 2018. – № 2 (42). – P. 28-36.

УДК 004.932

Роман Мельник, проф., Руслан Тушницький, доц.
Національний університет "Львівська політехніка"

ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ОЗНАК СЕРЕДНЬОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ ОБЛИЧ

Розглянуто особливості індивідуальної інтенсивності пікселів у стовпцях і рядках. Особливості були застосовані до граней з різними коефіцієнтами експозиції. Для зменшення різниці між ознаками, зумовленими різними рівнями інтенсивності, була запропонована зміна інтенсивності та сегментації.

Ключові слова: ознаки середньої інтенсивності, освітлення, потемніння, сегментація, бінаризація.

Roman Melnyk, Ruslan Tushnytskyy

INFLUENCE REDUCTION IN MEAN INTENSITY FEATURES FOR FACES COMPARISON

Face mean intensity features of pixels in columns and rows are considered. The features were applied to faces with different exposure coefficients. To reduce a difference between the features caused by different levels of intensity changing of intensity and segmenting approach was proposed.

Keywords: mean intensity features, lightning, darkening, segmenting, binarization.

Introduction. Today face recognition techniques are widely used in various fields, e.g. social networks, smart homes, smartphones, secure systems etc. The development of the recognition algorithm is accompanied by several basic stages: detection, normalization, formation of characteristics, comparison. Often methods of recognition and classification use several algorithms at the same time for several approaches and techniques i.e. image processing, machine learning, neural networks etc, to achieve successful results. The works [1 – 3] provide a brief overview of the methods for faces detecting and recognizing. Among the most used and perspective approaches, we note the following: applying for the face recognition problem of neural networks algorithms [4, 5]; applying Support Vector Machine supervised learning models [6, 7]; applying Kernel Discriminant Analysis [6, 8]. The methods discussed are considerably expensive for computing resources, which reduces their practical use. Therefore, we propose a new approach for the formation of properties based on the segmentation of a three-dimensional object in the metric and intensity space. Our method allows us to build a set of features for face identification and classification.

Distance between intensity features of faces. Let us calculate mean value of pixel intensity in the columns and rows of the image pixels matrix:

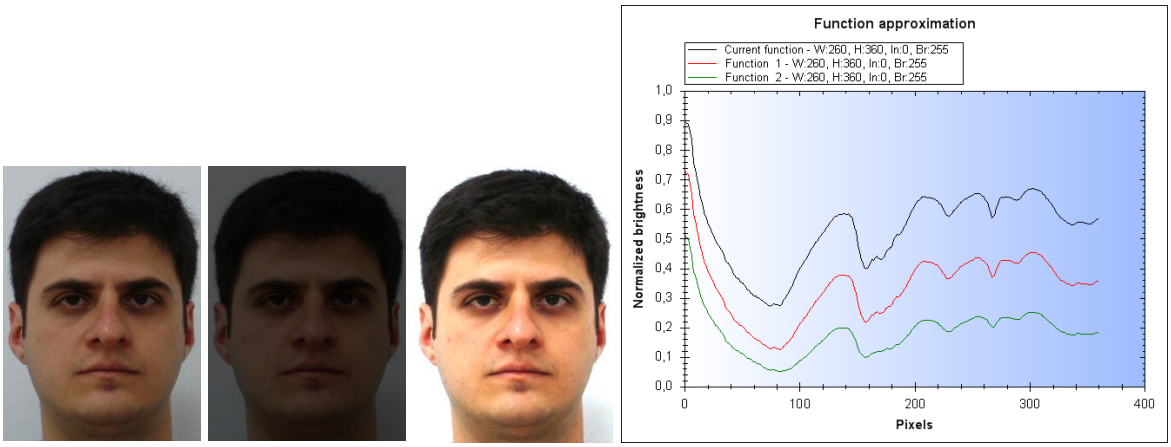
$$y_j = 1/H\{\sum_{i=1}^{H} b_{i,j}\}, \quad x_i = 1/W\{\sum_{j=1}^{W} b_{i,j}\} \tag{1}$$

where $b_{i,j}$ is pixel intensity in i-row and j-column ($1 \le i \le H$, $1 \le j \le W$), W and H represent the number of columns and the number of rows respectively.

In the experiment we use three faces 1a with different exposure coefficients from a library of images [9] (Fig. 1, *a*). For these three images we calculate mean intensity values in rows (1). Corresponding plots are presented in Fig. 1, *b*. The two axes are: OX - H – a number of rows, OY – 255 - intensity.

To measure a distance between three plots we use the following formulas:

$$L_y = 1/W \sum_{x=1}^{W} \left| f_1(x) - f_2(x) \right|, \qquad L_x = 1/H \sum_{y=1}^{H} \left| f_1(y) - f_2(y) \right| \tag{2}$$



a *b*

Fig. 1. Images of the face 1a: with differen exposure – *a*;
mean intensity value in rows for three 1a face images – *b*.

The distance between the graphs by rows of the three images 1a are given in Table 1.

Table 1.

Distances by mean intensity in rows

	original	dark	light
original	--	0,158	0,1942
dark	0,158	--	0,3522
light	0,1942	0,3522	--

Then we change intensity of the presented faces: the dark face was lightened with coefficient -30 and the light face was darkened with coefficient +30. Corresponding plots of intensity are given in Fig. 2, *a*. The distance between the graphs by rows of the three images 1a are given in Table 2.

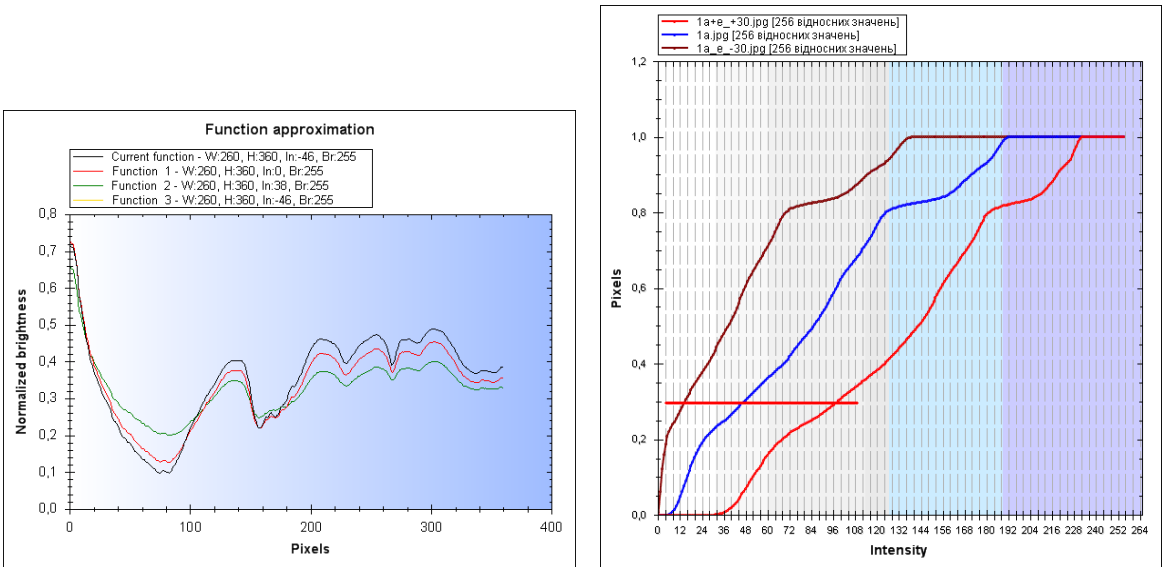
Table 2.

Distance by mean intensity in rows

	original	dark	light
original	--	0,0359	0,0257
dark	0,0359	--	0,0593
light	0,0257	0,0593	--

Distance between intensity features of segmented faces. We calculate the cumulative histograms for every face presented for the experiment in Fig.1. They are given in Fig. 2, *b*.

The main information for the recognition of the face image is placed in its central part, namely the shape and coordinates of the eyes, nose and mouth and their mutual positioning. These main objects are as a rule in black and dark colors. So, to segment the image we choose the thresholds. In Fig.2, *b* we select the level of segmented images as 0.3. Then we find the corresponding values of threshold: 17, 50 and 99.



a *b*

Fig. 2. Mean intensity value in rows for the 1a face images with changed intensity – *a*; cumulative histograms for the 1a face images – *b*

Fig. 3. Images of the segmented faces 1a :with different exposure

For these three images we calculate mean intensity values in rows (1). Corresponding plots are presented in Fig. 4. The two axes are: OX - *H* – a number of rows, OY – 255 - intensity. For more distinct peculiarities of the plots to underline the specific points we also can transform the images to binary view.

The distance between the graphs by rows of the three images 1a are given in Table 3.

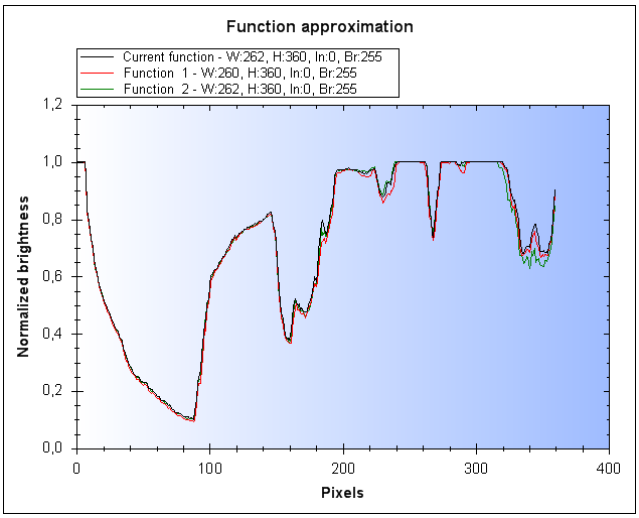


Fig. 4. Mean intensity value in rows for the 1a face segmented images with differen exposure

Table 3.

Distances by mean intensity in rows

	original	dark	light
original	--	0,0118	0,0118
dark	0,0118	--	0,0105
light	0,0118	0,0105	--

The result in the Table 3 show minimal distances between the images originally having different exposure coefficients.

Sa we see from the plots Coordinates of peaks in the mean intensity features indicate vertical positions of eyebrows, eyes, nose and mouth.. These coordinates could be accepted as face features independent of intensity. Also height and width of peaks give information about a number of pixels and their intensity of the main objects on the face.

Conclusion. The simple statistic features for identification of a face have been suggested, To exclude an influence of intensity transformation of images are made : adjustment of intensity to close values or segmenting the images to the equal values of pixels remaining in th segments. . The statistical feature by rows can be used to classification of faces using the developed algorithm.

References

1. E. Hjelmåsa1, B. KeeLowb, "Face Detection: A Survey", Computer Vision and Image Understanding, vol.83, iss. 3, 2001, pp. 236-274.

2. W. Zhao, R. Chellappa, P. J. Phillips, A. Rosenfeld, "Face recognition: A literature survey", ACM Computing Surveys, vol. 35, is. 4, 2003, pp.399-458.

3. A. F. Abate, M. Nappi, D. Riccio, G. Sabatino, "2D and 3D face recognition: A survey", Pattern Recognition Letters, vol. 28, issue 14, 2007, pp. 1885-1906.

4. M. Wang, W. Deng, "Deep Face Recognition: A Survey", Computer Vision and Pattern Recognition, 2019, https://arxiv.org/abs/1804.06655.

5. Y. Zhao, Z. Zhen, X. Liu, Y. Song, J. Liu, "The neural network for face recognition: Insights from an fMRI study on developmental prosopagnosia", NeuroImage, vol.169, 2018, pp.151-161.

6. M. Al-Dabagh, M. Alhabib,F. AL-Mukhtar, "Face Recognition System Based on Kernel Discriminant Analysis, K-Nearest Neighbor and Support Vector Machine", International Journal of Research and Engineering, vol.5, no.3, 2018, pp. 335-338.

7. N. P. Gopalan1, S. Bellamkonda, "Pattern Averaging Technique for Facial Expression Recognition Using Support Vector Machines", I.J. Image, Graphics and Signal Processing, vol.9, 2018, pp.27-33.

8. A. Iosifidis, M. Gabbouj, "Scaling up Class-Specific Kernel Discriminant Analysis for large-scale Face Verification", IEEE Trans. on Information Forensics and Security, vol. 11, issue 11, 2016, pp.2453- 2465.

9. FEI Face Database, 2019, https://fei.edu.br/~cet/facedatabase.htm.

УДК 627.34

Андрій Микитишин, к.т.н, доц., Петро Стухляк, д.т.н., проф., Олег Тотосько, к.т.н, доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Методом математичного планування досліджено вплив технологічних параметрів формування епоксикомпозитів на їх експлуатаційні характеристики. Встановлено, що суттєвий вплив на ударну в'язкість та теплостійкість композитів має температура ізотермічної обробки. Експериментально встановлено оптимальну температуру нагріву та тривалість ультразвукової обробки композиції.

Ключові слова: епоксидна композиція, ізотермічний ефект, ультразвукова обробка, теплостійкість, ударна в'язкість.

Andriy Mykytyshyn, Petro Stukhlyak, Oleh Totosko

MATHEMATICAL MODELING OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS FORMING TECHNOLOGY

The method of mathematical planning has investigated the influence of technological parameters of formation of epoxy composites on their performance characteristics. It has been established that the temperature of the isothermal treatment has a significant influence on the impact strength and heat resistance of the composites.

Keywords: epoxy composition, isothermal effect, ultrasonic treatment, heat resistance, impact strength.

Технологія формування полімерних композицій має суттєвий вплив на показники експлуатаційних характеристик кінцевого продукту та на саму можливість здійснення технологічного процесу. Тому велике практичне значення має встановлення аналітичних залежностей для експлуатаційних характеристик композитних матеріалів при зміні їх режимів формування. Серед методів оптимізації досліджень на даний час найбільш широко використовується метод математичного планування експериментів. Доведено, що при проведенні експериментальних досліджень найбільш важливим є встановлення закономірностей між величинами, що оптимізуються, і факторами варіювання.

Параметрами оптимізації приймали ударну в'язкість та теплостійкість епоксидних матеріалів, отриманих при різних режимах формування. В якості незалежних змінних (факторів) технологічного процесу формування матеріалів вибрані:

x_1 – тривалість ультразвукової (УЗ) обробки композиції, τ, хв; x_2 – температура першого нагрівання при ізотермічній обробці, T_1, К;x_3 – температура другого нагрівання при ізотермічній обробці, T_2, К.

Для опису процесу поліномом другого порядку вибраний план повного факторного експерименту 2^3(табл.1). Змінні та рівні варіації незалежних факторів приведені в таблиці 2.

Відповідно до матриці планування досліджували 15 режимів формування. Кожен дослід мав три паралельних визначення. Результати експерименту та середні значення ударної в'язкості та теплостійкості представлені в табл. 3 та 4 відповідно.

За отриманими експериментальними даними визначали коефіцієнти рівняння регресії. Для дослідження ударної в'язкості (табл. 3): $Y_1 = 11{,}16 + 0{,}21x_1 + 0{,}46x_2 + 0{,}33x_3 – 0{,}41x_1^2 – 0{,}53x_2^2 + 0{,}03x_3^2 – 0{,}09x_1x_3 + 0{,}17x_2x_3 - 0{,}03x_1x_2x_3$

Таблиця 1

Матриця планування

x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1^2 - (x_1^{//})^2$	$x_2^2 - (x_2^{//})^2$	$x_3^2 - (x_3^{//})^2$	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
+1	-1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	+1	-1	-1	+1
+1	+1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	-1	-1	+1	+1
+1	-1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	-1	+1	-1	+1
+1	+1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	+1	+1	+1	+1
+1	-1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	+1	+1	+1	-1
+1	+1	-1	+1	0,27	0,27	0,27	-1	+1	-1	-1
+1	-1	+1	+1	0,27	0,27	0,27	-1	-1	+1	-1
+1	+1	+1	-1	0,27	0,27	0,27	+1	-1	-1	-1
+1	-1,215	0	0	0,74	- 0,73	- 0,73	0	0	0	0
+1	+1,215	0	0	0,74	- 0,73	- 0,73	0	0	0	0
+1	0	-1,215	0	- 0,73	0,74	- 0,73	0	0	0	0
+1	0	+1,215	0	- 0,73	0,74	- 0,73	0	0	0	0
+1	0	0	+1,215	- 0,73	- 0,73	0,74	0	0	0	0
+1	0	0	-1,215	- 0,73	- 0,73	0,74	0	0	0	0
+1	0	0	0	- 0,73	- 0,73	- 0,73	0	0	0	0

Таблиця 2

Рівні факторів

Вихідні дані планованого експерименту	x_1	x_2	x_3
Центр експерименту, x_{0i}	3	333	313
Інтервал варіацій, Δx_i	2	20	10
Верхній рівень (x_i = + 1)	5	353	323
Нижній рівень (x_i = - 1)	1	313	303
Зіркова точка (+α = +1,215)	5,4	357,3	325,15
Зіркова точка (-α = -1,215)	0,6	308,7	300,85

Таблиця 3

Ударна в'язкість композитів при різних умовах формування

№ досліду	Ударна в'язкість, кДж/м^2			Середнє значення ударної в'язкості, кДж/м^2
	1	2	3	
1	9,85	9,93	9,87	9,88
2	9,91	9,95	9,84	9,90
3	10,03	10,11	9,97	10,04
4	11,32	11,25	11,24	11,27
5	9,47	9,48	9,53	9,49
6	10,95	11,06	11,12	10,04
7	11,23	11,31	11,19	11,24
8	10,78	10,91	11,03	10,57
9	9,82	9,91	10,02	9,97
10	11,01	10,87	10,94	10,94
11	9,87	9,93	9,98	9,93
12	10,54	10,63	10,68	10,62
13	10,96	11,02	11,09	11,02
14	11,06	11,28	11,24	11,19
15	11,34	11,42	11,36	11,35

Таблиця 4

Теплостійкість композитів при різних умовах формування

№ досліду	Теплостійкість, К			Середнє значення теплостійкості, К
	1	2	3	
1	393	396	394	394
2	398	395	396	396
3	396	398	397	397
4	401	398	403	401
5	393	395	394	394
6	394	398	393	395
7	399	404	401	401
8	395	397	393	395
9	397	392	394	394
10	396	394	397	396
11	395	394	397	395
12	398	401	396	398
13	400	402	399	400
14	401	398	403	401
15	403	406	406	405

Для дослідження теплостійкості (табл. 4): $Y_2 = 401{,}93 + 0{,}94x_1 + 1{,}70x_2 + 0{,}31x_3 – 4{,}13x_1^2 – 3{,}12x_2^2 - 0{,}41x_3^2 – 0{,}63x_1x_2 + 0{,}125x_1x_3 + 0{,}375x_1x_2x_3$

Значущість коефіцієнтів регресії визначили за t-критерієм згідно формули. Середня дисперсія відтворення: для ударної в'язкості $\sigma^2(y) = 0{,}05$; для теплостійкості $\sigma^2(y) = 0{,}72$. Табличне значення критерію Ст'юдента при числі ступеней вільності $f_2 = 30$ становить $t_{0,05} = 2{,}042$. В результаті відкидання незначущих коефіцієнтів рівняння регресії має вигляд: для ударної в'язкості $Y=11{,}16+0{,}21x_1+0{,}46x_2+0{,}33x_3–0{,}41x_1^2–0{,}53x_2^2+0{,}17x_2x_3$; для тепло-стійкості $Y=401{,}93+0{,}94x_1+1{,}70x_2–4{,}13x_1^2–3{,}12x_2^2–0{,}63x_1x_2$.

Адекватність одержаної математичної моделі перевіряли за критерієм Фішера згідно формули. Залишкова дисперсія для степенів вільності $f_1 = 4$ та $f_2 = 30$ згідно формули становить: для ударної в'язкості; $S_R^2 = 0{,}11$; для теплостійкості $S_R^2 = 1{,}15$.

Звідси, критерій Фішера для ударної в'язкості: $F_i = 2{,}2$, для теплостійкості $F_i = 1{,}6$. Для 5%-ного рівня значущості табличне значення F–критерію складає $F_p = 2{,}7$. Оскільки $F_p > F_i$, то можна вважати, що отримані рівняння регресії адекватно описують режими формування композиції. Отже, з отриманих рівнянь видно, що найбільшим значущим фактором є температура першого нагрівання при ізотермічній обробці, так як коефіцієнт при x_2 в обидвох випадках є найбільшим за абсолютною величиною. Із збільшенням температури (x_2) ударна в'язкість і теплостійкість збільшуються не значно. З технологічних міркувань прийнято оптимальну температуру T_1= 333К.

Другою по значимості виявилась тривалість ультразвукової обробки композиції, що формується (x_1). Для поліпшення фізико-механічних та теплофізичних характеристик тривалість обробки τ потрібно збільшити. Оптимальним буде час 4±0,2 хв.Найменш важливою є температура другого нагрівання при ізотермічній обробці. Отже, на основі аналізу результатів математичного планування приймаються наступні режими формування епоксидних композицій: тривалість ультразвукової обробки композиції –τ =4±0,2 хв.; температура першого нагрівання при ізотермічній обробці – T_1=333К; температура другого нагрівання при ізотермічній обробці –T_2 = 313К.

УДК 621.326

П.А. Ониськів, Я.В. Литвиненко, канд. тех. наук, доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

В даній роботі розглянуті методи сегментації зображень. Проведений їх порівняльний аналіз.

Ключові слова: Сегментація, зображення, метод к–середніх, метод водоподілу, гістограмний метод, порогова сегментація

P.A. Onyskiv, I.V. Lytvynenko Ph.D., Assoc. Prof.

ANALYSIS OF IMAGE SEGMENTATION METHODS

Summary. In this work reviewed the methods of image segmentation. Their comparative analysis was carried out.

Keywords: Segmentation, image, k-medium method, watershed segmantation, histogram method, threshold segmentation.

На сьогоднішній день розвиток техніки дозволяє створювати системи комп'ютерного зору які можуть не тільки доповнювати але і в деяких випадках замінювати людину в задачах розпізнавання образів в різних галузях науки та техніки. Такі задачі виникають наприклад, при діагностиці стану органів по томографічних зображеннях в медицині, при розпізнаванні номерів транспортних засобів, чи рукописних текстів та в інших прикладних задачах. При цьому під час розпізнавання зображень важливою процедурою є їх сегментація. Сегментацію зображень умовно можна поділити на сегментацію статичних зображень та динамічних зображень. В першому випадку доводиться мати справу з окремими зображенням (картинками), а у другому – з відео потоком даних. Сегментація – це процес розділення цифрового зображення на певну кількість сегментів. Метою сегментації є спрощення, або заміна представлення зображення для подальшого його полегшеного аналізу. Її використовують для виділення об'єктів та меж на зображенні. Для проведення автоматизованої сегментації було розроблено багато різних методів.

В даній роботі буде проведений огляд типових методів сегментації зображень.

Методи засновані на використанні порогів [1]. Порогова сегментація це один із основних і найпростіших методів сегментації. Використання порогу (порогів) допомагає розділити шукані об'єкти. Операція порогового поділу полягає у зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення з заданим значенням порога.

Метод водоподілу [2] – це метод, заснований на пошуку окремих областей. В таких методах приймають водоподіл – як хребет, який ділить межі сегментів по аналогії до поділу різних річкових систем. Лінії водоподілу – це кордони, що розділяють ділянки зображень. Застосування методу водоподілу дозволяє обчислити водозбірні басейни та лінії хребтів, при тому що водозбірні басейни це відповідні області зображення, а лінії хребтів це межі цих областей. Недолік даних методі надмірна сегментація.

Методи сегментації засновані на методах кластеризації [3] . Наприклад метод *к-середніх* – це ітераційний метод, який використовується для того, щоб розділити зображення на *к* кластерів.

Методи з використанням гістограми [4] дуже ефективні порівняно з іншими методами сегментації оскільки вони вимагають тільки одне проходження по пікселях. У цьому методі гістограма обчислюється за всіма пікселям зображення і її мінімуми і

максимуми використовуються, для того щоб знайти кластери на зображенні. Колір або яскравість можуть бути використані при порівнянні.

Методи виділення країв [5]. Межі та краї областей сильно пов'язані, оскільки часто існує сильний перепад яскравості на кордонах областей. Тому методи виділення країв використовуються як основа для іншого методу сегментації. Даний метод часто використовується разом з методом Grabcut [5]. Зазвичай його використовують після того, як сегментація була проведена вручну, для більш точного наведення контурів об'єкта, або виправлення помилок допущених під час роботи з Grabcut.

Сегментація за допомогою моделі – основне припущення цього підходу той факт, що структури які нас цікавлять мають повторювані геометричні форми. Отже, можна знайти ймовірнісну модель для пояснення змін форми органу і потім, сегментуючи зображення, накладати обмеження, використовуючи цю модель як апріорну.

Методи розрізу графа у цих методах ображення представляється як зважений неорієнтований граф.

Метод Floodfill [5] дозволяє виділяти об'єкти по пікселях, для цього необхідно задати початковий піксель і задати інтервал зміни кольорів щодо вихідного Інтервал може бути не симетричним. Алгоритм буде об'єднувати пікселі в один сегмент, він буде заливати їх одним кольором, якщо ті попадають у діапазон який задано. На виході отримується сегмент залитий одним кольором і його величина в пікселях. Таким чином можна отримати і примірну відстань до об'єкта аналізуючи його величину у пікселях.

Використовуючи диференціальні рівняння з частинними похідними [5] та їх розв'язки за певною числовою схемою можна одержати сегмент зображення. Крива поширення є відомим підходом в цій галузі, з великими можливостями практичного застосування в виокремленні об'єктів, відслідковуванні об'єктів, відновленні просторового зображення і т.ін.

Метод Grabcut [5] дозволяє проводити сегментацію подібно магнітному ласо, для отримання сегменту достатньо виділити об'єкт з частиною фону на зображенні з допомогою миші, далі алгоритм проведе його сегментацію і ми отримаємо окремий об'єкт без фону, така сегментація на відміну від інших є повільнішою, тому, що виконується зазвичай людиною і існує ризик виникнення помилок через не уважність виконуючого. Даний метод часто використовується для обробки зображень отриманих через Lidar, на зображені необхідно виділити набори пікселів які являють собою транспортні засоби, або значні перешкоди для руху. Даний метод є універсальним для сегментації любого типу зображень, та об'єктів на них.

Існування значної кількості методів сегментації зображень вимагає їх дослідження та формування рекомендацій щодо їх використання в конкретних задачах розпізнавання зображень в різних предметних областях. А також створення нових методів сегментації які не будуть володіти недоліками розглянутих методів, на сам перед мова іде про методи адаптивної сегментації.

Література

1. Греді Л. Random walks of image segmentation/ «Лео Греді» 2011 – 328 С.
2. Бхагват М. GSimplified Watershed Transformation/ «Маніша Бхагват » 2010 – 260 С.
3. Фруцці М. From segmentation to binarization to gray-level images/ «Марія Фруцці» 2008 – 210 С.
4. Брадскі Г. Learning open CV: OReilly/ «Говард Брадскі» 2013 – 220 С.
5. Обзор алгоритмов сегментации [Електронний ресурс] // habr. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://habr.com/ru/company/intel/blog/266347/.

УДК 621.643

Любомир Побережний, д.т.н., Михайло Микицей
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНИХ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ У КОРОЗИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

За результатами експериментальних досліджень запропоновано методику прогнозування деформації трубних сталей за тривалої дії корозивних середовищ. Показано, що оптимальними для математичного опису процесу деформації є логарифмічні залежності.

Ключові слова: корозивне середовище, магістральні газопроводи, тривала експлуатація, деформаційна поведінка

Lyubomyr Poberezhny, Michael Mykytsey

PROGNOSTICATION OF DEFORMATION OF LONG OPERATED PIPE STEELS IN CORROSIVE ENVIRONMENTS

According to the results of experimental studies, a method for forecasting the deformation of tubular steels for a long-term effect of corrosive media is proposed. It is shown that the logarithmic dependences are optimal for mathematical description of deformation process.

Keywords: corrosive environment, main gas pipelines, prolonged exploitation, deformation behavior.

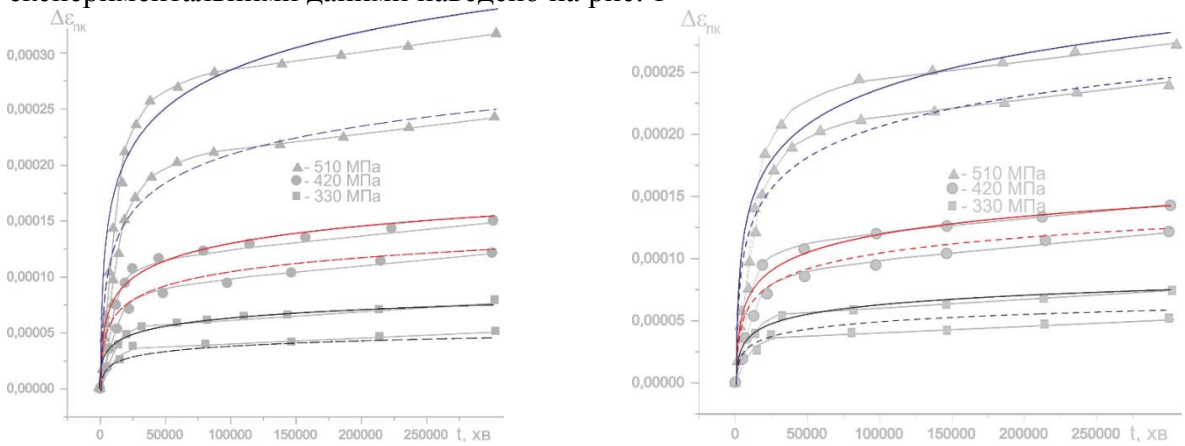
Процеси постачання природного газу супроводжуються значними його втратами (у 2001 р.-1,93 млрд. м^3). В зв'язку з цим комплексна проблема мінімізації втрат і підвищення ефективності використання енергоносіїв є вельми актуальною і її розв'язання дасть змогу зекономити значні кошти, які можна буде спрямувати на забезпечення безперебійності і надійності постачання газу споживачу, підтримку належного функціонування газотранспортної системи в цілому. Особливо важливого значення набувають експериментальні роботи в цьому напрямку, виконані за новими ефективними методиками, а саме, комплексні дослідження деформівної системи „труба – ґрунтовий масив" та вивчення кінетики протікання корозійних процесів.
Дослідження деформаційної поведінки матеріалу трубопроводу в умовах навантажень та впливів, які імітують експлуатаційні, дасть змогу краще оцінити залишковий ресурс безпечної експлуатації діючих, та ресурс роботи нових трубопроводів, коректніше прогнозувати експлуатаційні ризики та оцінити рівень потенційних загроз довкіллю, спричинених експлуатацією даних технічних об'єктів. Важливо вивчити кінетику деформації у корозійних середовищах, оскільки рівень пошкоджень у результаті синергічної дії механічного та корозійного чинників зростає нелінійно, відповідно так само збільшуються імовірності розгерметизації чи руйнування трубопроводу, а, отже, й пов'язані з цим експлуатаційні ризики.

Після нагромадження масиву експериментальних результатів постає питання прогнозування розвитку досліджуваних процесів. У класичній механіці є поняття повзучості, пов'язане головним чином із зміною деформації металу при підвищених температурах. Найчастіше для аналітичного опису таких непружних процесів використовують логарифмічні залежності, звідки і пішов термін «логарифмічна повзучість».

У досліджуваному нами випадку термін повзучість мусимо вживати із застереженнями, оскільки механізми зміни деформації тривалоексплуатованого металу

пов'язані не тільки із пластичним течінням, а й з розкриттям внутрішніх структурних дефектів, які виникли внаслідок процесів деградації [1-2]. Однак незважаючи на відмінності у механізмах, кінетика розвитку процесу деформації схожа на таку для класичної повзучості, тому було прийнято рішення використати для математичного опису отриманих експериментальних результатів подібні залежності.

Запропоновано для опису деформаційних процесів використовувати рівняння вигляду $y = a - b \cdot \ln(x)$, або, підставивши параметри часу і деформації $\varepsilon = a - b \cdot \ln(t)$. Загальний вигляд кореляції отриманих залежностей з експериментальними даними наведено на рис. 1



а б

Рис. 1. Загальний вигляд експериментальних даних з накладеними графіками отриманих функціональних залежностей для сталі 19Г (а) та 17ГС (б)

Для аналізу експериментальних даних для сталі трубопровідної сталі 19Г використовували аналогічні методичні підходи з метою спрощення порівняльного аналізу та подальшого ранжування за рівнем потенційного ризику прискореного розвитку корозійно-механічних процесів. Статистична обробка результатів, яку було виконано у програмі Origin 2015, показала надійну імовірність математичного опису у межах 0,96-0,98, що підтверджує правильність вибору методики аналітичного опису експерименту [3].

Висновки: Отримані результати свідчать про належну коректність подальшого прогнозування деформаційних тривалоексплуатованої сталі трубопроводу у ґрунтових електролітах. У подальшому планується розширювати сортамент досліджуваних сталей з метою створення бази даних зміни механічних властивостей трубопровідних сталей у процесі експлуатації. Це дасть змогу підвищити рівень надійності магістральних газопроводів та визначати ділянки, які потребують першочергової модернізації.

Література

1. Фізико-механічні властивості сталі обсадної труби та їх вплив на її роботоздатність / Є.І. Крижанівський, Г.М. Никифорчин, І.І. Палійчук [та ін.] // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій: 5-та міжнар. конф. 24 – 27 червня 2014 р.: зб. наук. праць. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2014. – С. 761 – 766.

2. Gabeta G. In-service degradation of gas trunk pipeline X52 / G. Gabeta, H.V. Nykyforchyn, E. Lunarska [etc.] // Фіз.- хім. механіка матеріалів. – 2008. – № 1. – С. 88 – 99.

3. Побережний Л. Я. Ранжування ґрунтів за небезпекою втрати несної здатності трубопроводами на пізній стадії експлуатації / Л. Я. Побережний, А. І. Станецький // Науковий вісник НЛТУ України. - 2016. - Вип. 26.1. - С. 280-286.

УДК 539.312

Андрій Пожуєв, доц.,к.ф.-м.н., Антон Фасоляк,к.т.н.,
Олена Міхайлуца, доц., к.т.н.
Запорізький національний університет, Україна
Запорізький національний технічний університет, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ДИНАМІКИ ПІДЗЕМНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БІПОЛЯРНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ

Проаналізовано застосування біполярної системи координат для побудови математичної моделі динамічної поведінки оболонок у різних середовищах.

Ключові слова: математична модель, коефіцієнт динамічності, чисельний метод.

Andriy Pozhuyev, Anton Fasoliak, Olena Mikhailytsa

MODELING OF NON-STATIONARY DYNAMICS OF UNDERGROUND CYLINDER OBJECTS USING BIPOLAR COORDINATE SYSTEMS

The application of bipolar coordinate system for the construction of mathematical model of dynamic behavior of shells in different environments has been analyzed.

Keywords: mathematical model, coefficient of dynamism, numerical method.

Конструкції у вигляді циліндричних оболонок, оточених пружним середовищем, досить часто зустрічаються на практиці (підземні трубопроводи, тунелі метро, вертикальні шахтні стволи і т. і.). При цьому з математичної точки зору найбільш складними при моделюванні і розробці методів розрахунку таких споруд є, в першу чергу, врахування динамічних процесів і, зокрема, визначення коефіцієнту динамічності і, по-друге, мало дослідженим і складним є питання про вплив границі напівпростору і визначення глибини закладення, починаючи з якої цю границю обов'язково треба враховувати.

В даній роботі побудована математична модель динамічної поведінки системи циліндрична оболонка нескінченої довжини – пружне інерційне середовище, коли рух оболонки описується класичними або уточненими рівняннями, а для середовища використовуються точні динамічні рівняння теорії пружності. При цьому для розрахунку оболонок неглибоко залягання виникає необхідність урахування поверхні напівпростору (вільної або навантаженої). Крім того, значний теоретичний і практичний інтерес викликає дослідження взаємовпливу двох коаксіально розташованих оболонок у пружному середовищі при їх динамічному навантаженні і визначення відстані між ними, при якій цим взаємовпливом можна нехтувати. З математичної точки зору основна проблема полягає в тому, що рівняння різних елементів системи (оболонки і середовища) записані в різних системах координат і таким самим чином записані граничні умови, що унеможливлює їх одночасне задовольняння. У зв'язку з цим запропоновано чисельно-аналітичний підхід, який ґрунтується на застосуванні біполярної системи координат як для врахування впливу поверхні півпростору, так і при аналізі взаємовпливу двох оболонок [1].

Нехай оболонка та середовище віднесені до нерухомої декартової системи координат. Внутрішня поверхня оболонки задається рівнянням $x^2+(y+l)^2=b^2$, а поверхня контакту між півпростором та оболонкою – рівнянням $x^2+(y+l)^2=a^2$ (де l – відстань від центру оболонки до поверхні півпростору, $h=a-b$ – товщина оболонки). Поверхня півпростору в тій самій системі координат описується рівняння

$y = 0$. Вісь оболонки паралельна поверхні півпротору. Приймається, що динамічне навантаження на оболонку (або на поверхню півпростору) рівномірно розподілене за осьовою координатою, тобто не залежить від змінної *z*, тому початкова задача зводиться до плоскої задачі теорії пружності. Додатково приймається що навантаження прикладаються симетрично відносно осі *y*. У випадку двох коаксіальних оболонок внутрішня поверхня однієї з них задається рівнянням $x^2 + (y+l)^2 = b^2$, а іншої – $x^2 + (y-l)^2 = b^2$ ($2l$ – відстань між центрами). Осі оболонок та вісь *z* паралельні, а навантаження до обох оболонок прикладаються симетрично відносно осі *y*. Останнє припущення в обох задачах дозволяє зробити розріз, який враховується записом відповідних граничних умов для пружного середовища, та приводить до суттєвого зменшення обсягу обчислень.

Біполярна система координат задається співвідношеннями

$$x = \frac{a_0 \sin\beta}{ch\alpha + \cos\beta}, \qquad y = -\frac{a_0 sh\alpha}{ch\alpha + \cos\beta}, \qquad a_0 = \sqrt{l^2 - a^2},$$

де (x, y) – декартові координати точки, (α, β) – біполярні координати. Введена таким чином біполярна система координат є ортогональною та має наступні геометричні характеристики: $h_\alpha = h_\beta = \dfrac{a_0}{ch\alpha + \cos\beta}$, $g_{\alpha\alpha} = g_{\beta\beta} = h_\alpha^2$, де h_α, h_β – коефіцієнти Ламе, $g_{\alpha\alpha}$, $g_{\beta\beta}$ – компоненти метричного тензору. Зазначимо, що біполярна система координат може бути узагальнена до біциліндричної, яка також є ортогональною, її геометричні характеристики за осьовою координатою співпадають з відповідними характеристиками в циліндричній системі координат, тобто $h_z = 1$, $g_{zz} = 1$ [2].

Показано, як виходячи із динамічних рівнянь теорії пружності в довільній ортогональній системі координат отримати рівняння руху півпростору у біполярній системі, а з рівнянь теорії оболонок у довільній ортогональній системі перейти до рівнянь руху в тій самій, що й для середовища, біполярній системі. Після цього отримана система рівнянь у частинних похідних зі змінними коефіцієнтами розв'язувалася чисельним методом, що ґрунтується на методі скінчених різниць за просторовими координатами і θ-методі Вільсона за часовою змінною, який дозволяє звести розв'язання нестаціонарної задачі до розв'язання ітераційної послідовності квазістатичних задач. Проведено порівняння з результатами відповідних задач у статичній постановці, а також з результатами, які отримані авторами за допомогою методу скінчених елементів. Відмічена узгодженість між результатами за обома методами. З механічної точки зору найбільш важливими є знаходження залежності між відстанню до поверхні півпростору і радіусом оболонки, починаючи з якої стає справедливим моделювання оболонки в необмеженому просторі і аналогічний висновок про відстань між двома оболонками, при перевищенні якої взаємовплив стає незначним. Показана можливість розповсюдження запропонованого підходу на задачі динаміки оболонок у неоднорідному і акустичному середовищі.

Література

1. Пожуєв В.І., Пожуєв А.В., Фасоляк А.В. Моделювання динаміки циліндричної оболонки у пружному півпросторі за допомогою біполярної системи координат // Проблеми обчислювальної мех. і міцності конструкцій. - 2018. - Вип. 28. - С. 168-182.

2. Fasoliak A.V., Pozhuev V.I. Application of the bipolar coordinate system to modeling of the cylindrical shell dynamic in elastic medium with free surface // International Journal of Mechanical Engineering and Information Technology. - 2018. - Vol. 6. - P. 1820-1825.

УДК 532.526

Леонід Романюк, канд. техн. наук, доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВРАХУВАННЯ ОСНОВНИХ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТУРБУЛЕНТНИХ ПРИМЕЖЕВИХ ТЕЧІЙ

Наведено розроблену та апробовану алгебраїчну модель коефіцієнта турбулентної в'язкості. Модель сформульовано у вигляді єдиної формули для всього примежового шару, так що після модифікації її коефіцієнтів та параметрів з метою врахування наявних у реальних течіях ускладнюючих факторів вона узагальнюється для розрахунку широкого класу задач пристінних течій.

Ключові слова: турбулентна в'язкість, примежовий шар, пристінні течії.

Leonid Romaniuk

INFLUENCE OF BASIC PHYSICAL FACTORS IN MODELING OF NEAR WALL TURBULENT FLOWS

The developed and tested algebraic model of the coefficient of turbulent viscosity is presented. The model is formulated in the form of a single formula valid along all the boundary layer thickness By use of modification and empirical coefficients and parameters to take in account action of several physical factors the models are generalized for application in computations of large class of near wall turbulent flows.

Keywords: turbulent viscosity, boundary layer, near wall flows.

При моделюванні двовимірних турбулентних примежових шарів нестискуваної рідини можна використовувати алгебраїчну модель коефіцієнта турбулентної кінематичної в'язкості у вигляді єдиної по всій товщині примежового шару формули:

$$\nu_t = \chi\Delta\nu_*\gamma\left(\bar{y}\right)th\frac{l\sqrt{\tau_+}}{\chi\Delta},$$

$$l = kyth\frac{sh^2\left(\chi_1 y^+\right)th\left[sh^2\left(\chi_2 y^+\right)\right]}{ky^+\sqrt{\tau^+}},$$

де $\bar{y} = \frac{y}{\delta}$ - відносна координата , l – довжина шляху перемішування, Δ - параметр довжини Ротта-Клаузера, $\gamma\left(\bar{y}\right)$ - коефіцієнт перемішування потоку, τ^+ - напруження тертя в околі стінки: $\tau^+ = \begin{cases} 1+\phi\bar{y} & при\,\phi \geq 0 \\ 1/\left(1-\phi\bar{y}\right) & при\,\phi = 0 \end{cases}$,

ν_* - динамічна швидкість, χ_1, χ_2, k, χ - емпіричні коефіцієнти моделі.

Формули забезпечують пропорційність коефіцієнта турбулентної в'язкості у в'язкому підшарі - y^4, в перехідній зоні - y^2, в логарифмічній зоні y. Проведені обчислювальні експерименти дозволяють використовувати для модельних коефіцієнтів залежності, котрі записуються у вигляді $\Pi = \Pi_0 \cdot \Pi_R \cdot \Pi_p$, та свідчать про мультиплікативність впливу цих факторів, де Π - модельний коефіцієнт, Π_0 - його значення для плоского безградієнтного примежового шару, Π_R - поправка на малі числа Рейнольдса, Π_p - поправка на поздовжній градієнт тиску.

У в'язко-перехідній зоні пропонуються поправки виду:

$$\chi_{1R} = 1 + 0.01\left(1 - e^{\frac{14}{1+\left(0.001R^{**}\right)^2}}\right),\ \chi_{2R} = 1,$$

$$\chi_{1R} = 1 + 15.089p + r_1 r_2,\ \chi_{2R} = 1 + 30.178p^+,$$

де $r_1 = 1 - 0.5e^{-0.1436\beta} + 0.5e^{-0.3531\beta}$, $r_2 = 1 - e^{\frac{-76.1528p^+}{\beta}} + e^{\frac{-361.4064p^+}{\beta}}$.

У логарифмічній зоні та в зовнішній області примежового шару $k_R = 1$,

$$k_p = \begin{cases} 1 + 0.45568\left(1 + p^+\right)s & при \quad \frac{dp}{dx} \geq 0 \\ 1 + 146.27568\left(\frac{p^+}{\beta}\right)s & при \quad \frac{dp}{dx} < 0 \end{cases},\ \chi_R = \frac{1.55}{\left[1 + 0.55\left(1 - e^{-0.243\sqrt{z_1} - 0.298z_1}\right)\right]},$$

$$\chi_p = 0.0095 + \left[74.6 + \left(2.4 + \beta\right)^2\right]^{-1},\ \text{де}\ s = 1 - e^{-0.32068\beta},\ z_1 = \left(\frac{R^{**}}{425}\right) - 1.$$

При значеннях параметра $-\frac{\nu}{U_E^2}\frac{dU_E}{dx} > 10^{-7}$ рекомендується використовувати залежність: $\chi_p = 0.0168 + \left[212.85 + \left(2.4 + \beta\right)^2\right]^{-1}$.

Аналіз результатів розрахунків показав, що модель пристосована для розрахунків нерівноважних течій, але не забезпечує достовірних розрахунків для рівноважних течій. Результати проведених обчислюваних експериментів для примежових шарів з $\frac{dH}{dx} < 0$ показали, що модель здатна прогнозувати такі течії при умові внесення модифікацій в деякі модельні коефіцієнти. Для цього випадку отримані поправки для коефіцієнтів логарифмічної зони та зовнішньої області в залежності від $H = \frac{\delta^*}{\delta^{**}}$, $\frac{dH}{dx}$, R^{**} β.

З метою врахування шорсткості стінки у запропонованій моделі для пристінної області, згідно з пропозиції Ротта, робиться зсув координати y на деяку величину Δy, тобто $l\left(y^+\right)$ замінюється на $l\left(y^+ + \Delta y^+\right)$ Шкваром запропоновано такі залежності для знаходження величини Δy^+:

$$\Delta y^+ = \begin{cases} \left(\frac{1}{\chi_1}\right) arcth\left(\chi_1 \Delta u^+\right) & при \quad h^+ \leq h^* \\ h^+ e^{-kB\left(h^+\right)} & при \quad h^+ > h^* \end{cases},$$

де $h^* = 25.3611e^{k(C+2.89)}$,

$$\Delta u^+ = \left(\frac{1}{k}\right)\ln h^+ - B\left(h^+\right) + C,$$

$$B\left(h^+\right) = C + Sth\left(\frac{\ln h^+}{kS}\right),$$

$$S = \frac{2.89}{\left[1 - 87\left(\frac{\ln h^+}{8}\right)^{2.03}\left(1 - \frac{\ln h^+}{8}\right)^{8.386}\right]},$$

$k = 0.4$, $C = 5.6$.

УДК 539.3

Олександра Самборська, канд. ф.-м. н., доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПРО МОДЕЛЬ ТА ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ВОЛОКОН У ОДНОНАПРЯМЛЕНИХ КОМПОЗИТАХ

У цій роботі представлена тривимірна модель однонапрямлених композитів і обговорюються деякі аспекти нестабільності волокон в композитах. По-перше, дано короткий огляд існуючих моделей. Далі представлено відносно просту тривимірну лінеаризовану модель, у якій всі компоненти описуються лінеаризованими рівняннями, а умови на міжфазних поверхнях задовольняються точно.

Ключові слова: однонапрямлені композити, анізотропні волокна, втрата стійкості волокон.

Oleksandra Samborska

ON TNE MODEL AND SOME ACPECTS OF FIBER INSTABILITY IN UNIDIRECTIONAL COMPOSITES

This work presents a three-dimensional model of unidirectional composites and discusses some aspects of fiber instability in the composites. First, a short review of the existing models is given. Then, a relatively simple three-dimensional linearized model is presented, in which all components are described by three-dimensional linearized equations and the interface conditions are rigorously satisfied.

Keywords: unidirectional composites, anisotropic fibers, fiber buckling.

Частка композитних матеріалів у сучасному машинобудуванні, авіаційній промисловості, будівництві та інших галузях техніки постійно зростає. Це викликає необхідність детального дослідження їхньої механічної поведінки та механізмів руйнування при навантаженнях.

Міцність волокнистих композитних матеріалів при стиску значною мірою обмежується можливістю втрати стійкості волокон у матриці. При цьому волокна набувають чітко вираженої синусоїдальної форми з довжиною хвилі, що визначається співвідношенням механічних параметрів матриці та волокон і яка не залежить від розмірів та форми зразка, виготовленого з даного волокнистого композиту. Одним з важливих механізмів руйнування однонапрямлених композитних матеріалів та елементів конструкцій з них у зонах стиску є мікронестійкість, тобто втрата стійкості мікроволокон у матриці, яка викликана порівняно малим ефективним модулем зсуву цих матеріалів.

Цей модуль зсуву G_c може бути визначений як функція механічних параметрів волокон та матриці, а також об'ємної пропорції цих компонентів V_f та V_m. Згідно із спрощеною двовимірною моделлю, він може бути визначений за формулою:

$$\frac{1}{G_C} = \frac{V_f}{G_f} + \frac{V_m}{G_m} \tag{1}$$

Зауважимо, що навіть якщо матриця підсилена дуже жорсткими волокнами, наприклад, $G_f = 100G_m$ і $V_f = V_m = 0,5$, то згідно з формулою (1), отримуємо

$G_m / G_c = 0,505$. Тобто модуль зсуву однонапрямленого композиту збільшується лише у 2 рази порівняно з модулем зсуву самої матриці.

Механізму втрати стійкості волокон у матриці приділено багато уваги у науковій літературі, починаючи від спрощених моделей, які ґрунтуються на аналізі модуля зсуву композиту, і закінчуючи досить точними тривимірними теоріями. Наприклад, Розен (1965 р.) і Шерх (1966 р.) заміняли волокнистий композит на шаруватий, чим значно спрощували постановку та розв'язання задачі. Садовський (1967 р.) розглядав волокна як одновимірні стержні, що вбудовані у тривимірну матрицю, і був змушений вводити додаткові гіпотези щодо взаємодії (контакту) волокон та матриці. Слід зауважити, що введення такого типу радикальних спрощень, як заміна волокнистої структури на шарувату, може привести до значних помилок при отриманні розв'язку задачі.

Розгляд явища внутрішньої втрати стійкості на основі строгого підходу, який ґрунтується на залученні тривимірної лінеаризованої теорії стійкості і моделі кусково-однорідного середовища було вперше запропоновано О.М. Гузем (1969 р.). При вказаному підході тривимірні лінеаризовані рівняння застосовуються окремо до волокон і до матриці, що дає змогу точно сформулювати граничні умови взаємодії між волокнами та матрицею. Огляд результатів, отриманих в рамках даного строгого підходу, наведено у монографії [1].

У цій роботі аналізуються деякі параметри, які впливають на втрату стійкості волокон у матриці. Будемо використовувати тривимірну модель, у якій пружна матриця підсилена періодичним рядом пружних анізотропних волокон з круговим поперечним перерізом радіуса *R*. Будемо вважати, що вкорочення матриці та волокон у напрямку волокон рівні між собою і докритичний стан у компонентах композиту однорідний.

На міжфазних поверхнях можуть бути сформульовані різні граничні умови. У випадку ідеального контакту отримуємо:

$$\mathrm{P}^{fq}_{rr,q} = \mathrm{P}^{m}_{rr,q}, \quad \mathrm{P}^{fq}_{r\theta,q} = \mathrm{P}^{m}_{r\theta,q}, \quad \mathrm{P}^{fq}_{rz,q} = \mathrm{P}^{m}_{rz,q} ,$$

(2)

$$U^{fq}_{r,q} = U^{m}_{r,q}, \quad U^{fq}_{\theta,q} = U^{m}_{\theta,q}, \quad U^{fq}_{z,q} = U^{m}_{z,q} .$$

Індекси "*f*" та "*m*" означають відповідно "волокно" і "матриця", а індекс "*q*" – номер волокна.

Зауважимо, що умови (2) визначають неперервність зусиль і зміщень на кожній міжфазній поверхні. У випадку ковзного контакту нормальні компоненти цих величин є неперервними, а зсувні зусилля дорівнюють нулю. За наявності вільної поверхні формулюємо наступні граничні умови:

$$\mathrm{P}^{m}_{yx,q} = 0, \quad \mathrm{P}^{m}_{yy,q} = 0, \quad \mathrm{P}^{m}_{yz,q} = 0 \tag{3}$$

Згідно з працею О.М. Гузя [1], в рамках лінеаризованої тривимірної постановки задачі зміщення можна виразити через функції ψ та χ:

$$U_n = \frac{\partial \psi}{\partial s} - \frac{\partial^2 \chi}{\partial n \partial x_3}, \quad U_s = -\frac{\partial \psi}{\partial n} - \frac{\partial^2 \chi}{\partial s \partial x_3}, \tag{4}$$

$$U_3 = \left(\omega_{1133} + \omega_{1313}\right)^{-1} \left(\omega_{1111} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) + \omega_{3113} \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} \right) \chi .$$

де функції ψ та χ є розв'язками рівнянь

$$\left(\Delta_1+\zeta_1^2\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\right)\psi=0,\quad \Delta_1=\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial\Theta^2},$$

(5)

$$\left(\Delta_1+\zeta_2^2\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\right)\left(\Delta_1+\zeta_3^2\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\right)\chi=0.$$

Коефіцієнти $\zeta_i^2\left(i=1,2,3\right)$ у рівняннях (5) залежать від механічних властивостей компонентів композиту.

Застосовуючи ці рівняння до кожного компонента композиту, шукаємо розв'язки у вигляді:

$$\Psi^{fq}=\alpha R^{-1}\sin\left(\pi x_3/L\right)\left(\sum_{n=1}^{\infty}\mathrm{A}_{n,1}^{fq}\mathrm{I}_n\left(\zeta_1^f\,\alpha R^{-1}r_q\right)\sin n\theta_q+\sum_{n=0}^{\infty}C_{n,1}^{fq}\mathrm{I}_n\left(\zeta_1^f\,\alpha R^{-1}r_q\right)\cos n\theta_q\right)$$

(6)

$$\mathrm{X}^{fq}=\cos\left(\pi x_3/L\right)\sum_{s=2}^{3}\left(\sum_{n=0}^{\infty}\mathrm{A}_{n,s}^{fq}\mathrm{I}_n\left(\zeta_s^f\,\alpha R^{-1}r_q\right)\cos n\theta_q+\sum_{n=1}^{\infty}C_{n,1}^{fq}\mathrm{I}_n\left(\zeta_s^f\,\alpha R^{-1}r_q\right)\sin n\theta_q\right).$$

У цих розв'язках $\mathrm{A}_{n,1}^{fq}$ та $C_{n,1}^{fq}$ є невідомими коефіцієнтами, які потрібно визначити так, щоб виконувались сформульовані граничні умови.

Згідно з цими умовами, отримаємо нескінченну однорідну систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яку можна записати в матричній формі:

$$\mathrm{M}_{\alpha r}^{mq}\mathrm{X}_r^{mj}+\mathrm{M}_{\alpha r}^{fq}\mathrm{X}_r^{fj}+\sum_{n=0}^{\infty}\mathrm{N}_{\alpha rn}^{q}\mathrm{X}_r^{mj}=0 \qquad (7)$$

$$\left(\alpha=1,2;\ j=1,2;\ r=0,1,2,\ldots;\ q=0;\ \pm1;\pm2,\ldots\right).$$

Враховуючи періодичність розв'язків, можна дослідити цю систему тільки, наприклад, для $q=0$.

Згідно з умовою існування нетривіальних розв'язків однорідної системи лінійних рівнянь прирівнюємо визначник системи (7) до нуля і отримуємо характеристичне рівняння, яке потрібно розв'язати чисельним методом.

Незалежно від виду граничних умов на міжфазних поверхнях, одержаний нескінченний визначник буде визначником нормального типу. Тому при розв'язуванні характеристичного рівняння можна застосувати метод редукції.

Література.

1. Гузь А.Н. Механика разрушения композитных материалов при сжатии.-Київ: Наукова думка, 1990.-632с.

2. Гузь А.Н., Шульга Н.А., Бабич И.Ю. Механика композитов. Т2. Динамика и устойчивость материалов.-Київ: Наукова думка, 1993.-430с.

УДК 621.326

Орина Семененко, Ірина Лавренюк
Університет митної справи та фінансів, Україна

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЯК ОДИН З НАЙПЕРСПЕКТИВНІШИХ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглядаються хмарні технології, використання їх у сучасному світі, зокрема в бізнесі, а також перспективи розвитку хмарних обчислень.

Ключові слова: хмарні обчислення, хмарні технології, додаток, IT-інфраструктура.

Oryna Semenemko, Iryna Lavreniuk

CLOUD TECHNOLOGIES, AS ONE OF THE MOST PROMISING DIRECTIONS OF DEVELOPMENT MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES

Considered cloud technologies, their use in the modern world and cloud computing prospects.

Keywords: cloud computing, cloud technologies, application, IT- infrastructure.

За останні кілька років хмарні обчислення стали головним напрямком розвитку сучасної IT-індустрії. Застосування хмар дозволяє істотно поліпшити гнучкість і масштабованість IT-інфраструктури підприємства. Раніше для запуску нової програми потрібно було придбати нові сервера, системи зберігання, покупка прикладного програмного забезпечення та налаштування його конфігурації. Такий проект міг зайняти від декількох днів до декількох місяців.

Сьогодні завдяки хмарним технологіям новий додаток можна розгорнути менш, ніж за годину. Всі необхідні для додатка обчислювальні потужності і ємність для зберігання даних беруться з хмари, за допомогою віртуалізації об'єднуються ресурси в єдиний пул багатьох серверів і систем зберігання. А для швидкої інсталяції програмного коду програми передбачені готові шаблони.

Аналогічним чином набагато швидше відбувається і виділення у вже розгорнутого додатка додаткових обчислювальних ресурсів і дискової ємності — не потрібно проводити upgrade серверів, не потрібно закуповувати додаткові нові системи. Додаток практично в реальному часі отримує всі необхідні йому потужності з хмари.

В цілому сервіси «хмарних» обчислень є програми, доступ до яких забезпечується через Інтернет за допомогою звичайного інтернет-браузера або інших мережевих додатків (наприклад, FTP-клієнта). Це можуть бути і розважальні, і службові, і спеціалізовані бізнес-додатки. Головна відмінність від звичного методу роботи з ПЗ полягає в тому, що користувач використовує не ресурси свого ПК, а комп'ютерні ресурси і потужності, які надаються йому як інтернет-сервіс. При цьому користувач має повний доступ до власних даних і можливість роботи з ними, але не може управляти тією ж операційною системою, програмною базою, обчислювальними потужностями і т. д., з допомогою яких ця робота відбувається.

Подібний підхід має цілий ряд плюсів:

- користувач може задіяти ПК практично будь-якої конфігурації для виконання ресурсоємних завдань;
- користувач не прив'язаний до місця роботи і може використовувати будь-який ПК, що має підключення до Інтернету;
- користувач застрахований від збоїв в роботі у випадку поломки машини і може легко ділитися результатами роботи з іншими людьми або ж вести спільну роботу.

Незаперечною перевагою для звичайних користувачів є і те, що на відміну від десткопних рішень, «хмарні» сервіси найчастіше або безкоштовні, або мають досить маленьку вартість (наприклад, у вигляді абонплати, як у випадку з «хмарним» варіантом MS Office). Правда, не варто забувати, що і функціональність у них поки що менше, ніж у настільних додатків.

Для компаній ж незаперечною перевагою виносу частини роботи в «хмару» є зниження витрат на обслуговування, підтримку, модернізацію та адміністрування «заліза» і програмного забезпечення на місці. Також завдяки переходу IT на хмарну модель компанії можуть оперативно запускати нові сервіси і динамічно реагувати на нові вимоги свого бізнесу.

З поняттям хмарних обчислень часто пов'язують такі сервісні технології, як «Програмне забезпечення, як послуга» («Software as a Service» або «SaaS»), «Інфраструктура, як послуга» («Infrastructure as a Service» або «IaaS») і «Платформа-як-сервіс» («Plaatform as a Service», «PaaS»). Розглянемо кожну з цих технологій докладніше.

Software-as-a-Service (SaaS) — модель розгортання додатку, яка надає додаток кінцевому користувачеву, як послуги на вимогу (on demand). Доступ до такого додатку здійснюється за допомогою мережі, а найчастіше — за допомогою Інтернет-браузера. По суті, це ті самі веб-додатки, навколо яких сьогодні так багато шуму. Найбільш старим прикладом, мабуть, можна вважати сервіси веб-пошти. Прикладами програмного забезпечення як послуги, що працює на основі обчислювальної хмари, є сервіси Gmail та Google docs.

Platform-as-a-Service (PaaS) — демонструє інший підхід, який виходить безпосередньо з його назви. По суті, це розміщена в Інтернеті програмна платформа, тобто деяке обчислювальне середовище з документально оформленими API. Вона розрахована на незалежних розробників, які можуть будувати на її основі власні SaaS-рішення. Принциповим моментом тут є підтримка тих чи інших технологій і інструментальних засобів. Наприклад, Google Apps надає застосунки для бізнесу в режимі онлайн, доступ до яких відбувається за допомогою Інтернет-браузера тоді як ПЗ і дані зберігаються на серверах Google.

Infrastructure-as-a-Service(IaaS) — це найбільш базовий рівень хмарних обчислень, на якому клієнт отримує можливість використання готової інформаційної інфраструктури (кластерів, серверів, мережевих пристроїв, сховищ даних), знову ж таки, без найменших знань про її устрій і принципи функціонування. IaaS дозволяє запускати в «хмарі» власні (або орендовані) віртуальні машини, в яких можна виконувати практично будь-які звичайні програми. Зрозуміло, що такі послуги в першу чергу найбільш затребувані IT-підрозділами, які розширюють власну інфраструктуру. Найбільшими гравцями на ринку інфраструктури, як послуги є Amazon, Microsoft, VMWare, Rackspace та Red Hat. Хоча деякі з них пропонують більше, ніж просто інфраструктуру, їх об'єднує мета продавати базові обчислювальні ресурси.

На даний момент більшість хмарних інфраструктур розгорнуто на серверах дата-центрів, використовуючи технології віртуалізації, що фактично дозволяє будь-якому, призначеному для користувача, додатку використовувати обчислювальні потужності абсолютно не замислюючись про технологічні аспекти. Тоді можна розуміти «хмару» як єдиний доступ до обчислень з боку користувача.

Основним користувачем хмарних технологій є швидко зростаючий малий і середній бізнес. Лідируючі позиції займають підприємства оптово-роздрібної торгівлі, які не мають можливості розвивати у себе масштабну IT-інфраструктуру. Безліч компаній приходять до використання приватних хмар для зниження витрат на використання і розвиток існуючої IT-інфраструктури. Банківська система все ж

використовує власні дата-центри виходячи з проблем конфіденційності та безпеки даних.

Найбільшою перешкодою на шляху більш широкого поширення хмарних технологій є питання безпеки. Не дивлячись на те що хмарні сервіси в цілому відповідають високим стандартам інформаційної безпеки, є безліч загроз, пов'язаних з їх роботою. До них відносяться шкідливі програми, які можуть поширюватися дуже швидко і завдати шкоди великій кількості користувачів. Другий великий блок пов'язаний з безпекою даних, в тому числі персональних: до них відносяться витік даних, ризики несанкціонованого доступу і багато інших загроз. За статистикою близько 70 % користувачів хмарних сервісів хоча б раз піддавалися злому. Хмарні сервіси не захищені — зокрема, хмари, розташовані в США, мають мільйони скомпрометованих акаунтів (Dropbox і Box), що підтверджується відкритою статистикою.

Немає ніякого сумніву, що сервіси, пропоновані за різними моделями «хмарних» обчислень, будуть розвиватися і далі. Про це можна судити навіть з того, що вже сьогодні їх існує велика кількість. В основі тієї ж Chrome OS від Google якраз лежить така концепція – операційка займає мінімум місця і фактично є розширеною версією браузера, за допомогою якого здійснюється доступ до різних онлайн-сервісів. Звичайно, говорити про те, що й інші ОС з часом повністю перейдуть на подібну модель роботи, не можна – надто вже звикли люди до стаціонарного методу. Швидше за все, через 5-10 років слід очікувати появи нових версій популярних ОС (як Windows, так і інших платформ) з якоїсь гібридної моделлю роботи – як широкою підтримкою «хмарних» технологій, так і звична всім можливістю працювати безпосередньо на ПК. Ясно одне – з такими темпами, якими розвивається IT-індустрія, чекати цього залишилося не дуже довго, і попередня оцінка в 5-10 років може бути навіть трохи завищеною.

Отже, потенціал хмарних обчислень дуже високий. А відповідно й надалі будуть розвиватися такі напрямки, як:

Надання послуг хмарних обчислень — дана можливість доступна не всім компаніям через те, що потрібні значні вкладення в побудову і розробку ЦОД.

Розробка ПО для побудови віртуальної інфраструктури, не слід забувати і про тих, хто буде впроваджувати і налаштовувати це ПО, т. Е. Будуть потрібні фахівці в цій галузі.

Аутсорсінг, адміністрування хмар — будуть потрібні фахівці з адміністрування і консультування в сфері хмарних обчислень.

Апаратне забезпечення — компанії, що займаються розробкою і проектуванням апаратного забезпечення для створення «хмар».

Проектування — дана сфера охоплює практично всі перераховані вище сфери починаючи від проектування ЦОД і закінчуючи проектуванням програмного забезпечення.

Література

1. Макаров С. В. За «Облачные вычисления» //Креативная экономика.- М, № 8, 2010.

2. Черняк Л. Интеграция — основа облака. //Открытые системы. СУБД 16 сентября 2011.

УДК 519.85

Іван Смолюх, Павло Камуля
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АЛГОРИТМУ РУХУ АВТОНОМНОГО РОБОТА ВИКОРИСТОВУЮЧИ ЗАЛЕЖНОСТІ ПРЯМОКУТНОГО ТРИКУТНИКА

Запропоновано алгоритм руху автономного робота використовуючи математичні закони, проведено визначення кута в реальному часі.

Ключові слова: автономний робот, алгоритм руху, прямокутний трикутник.

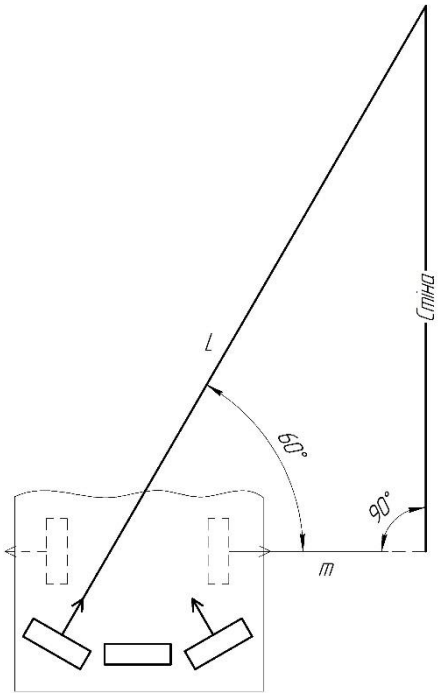
Ivan Smoliukh, Pavlo Kamulia

ALGORITHM OF STAND – ALONE ROBOT MOVEMENT USING THE LAWS OF RIGHT TRIANGLE

Abstract. An algorithm for the motion of a stand – alone robot using mathematical laws is proposed, real time determination of the angle was made.

Keywords: stand – alone robot, movement algorithm, right triangle.

Запропоновано алгоритм корекції курсу мобільного робота при наявності перешкод. Керування рухом відбувається згідно показів чотирьох давачів. Опитування відбувається з інтервалом 10 мс з подальшим усередненням трьох послідовних показів. Просторова позиція робота відносно перешкоди ідентифікується за значеннями виміряної відстаней перпендикулярно до курсу і визначенню сторони найближчої до перешкоди (*m*). Після визначення напрямку використовуємо давач який знаходиться під кутом в 60º до цієї сторони (*L*). Даний алгоритм дозволяє підтримувати паралельність до перешкоди, як на відстані від 15 см до 150 см, оскільки використані для розробки алгоритму давачі мають номінальний діапазон вимірювання від 15 см до 150 см.[1]



Після визначення сторони опрацювання визначаємо на скільки об'єкт дослідження не паралельний до перешкоди.

Нижче приведена схема розміщення давачів відносно перешкоди:

Рис. 1. Схема розрахунку кута повороту (ідеальний варіант – перешкода паралельно до об'єкту дослідження)

Для цього визначаємо теоретичне значення «L_T» і порівнюємо з реальним:

$$L_T = \frac{m}{\cos 60°} = 2m$$

Якщо «L_T» > «L», то шуканий кут α:

$$\alpha = atan\frac{2m - L}{\sqrt{3}m}$$

Якщо «L_T» < «L», то шуканий кут α:

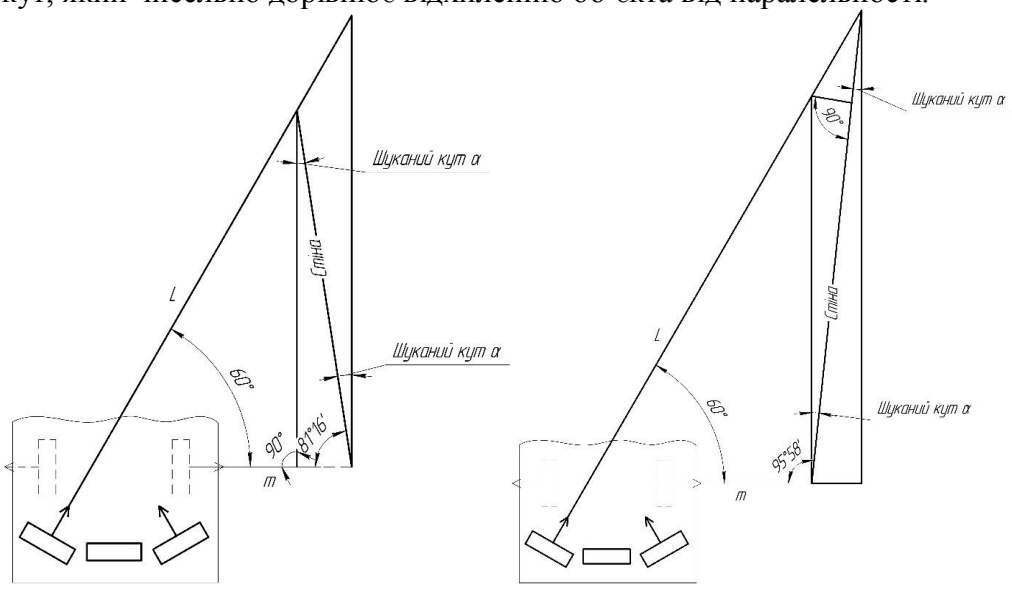
$$\alpha = atan\frac{L-2m}{\sqrt{3}m}$$

де L_T – теоретичне значення гіпотенузи досліджуваного прямокутного трикутника.

m – дані давача розміщеного перпендикулярно до перешкоди.

L – отримане, дійсне значення гіпотенузи досліджуваного трикутника.

α – кут, який чисельно дорівнює відхиленню об'єкта від паралельності.



а б

Рис. 2. Визначення кута α а) «L_T» > «L», б) «L_T» < «L»

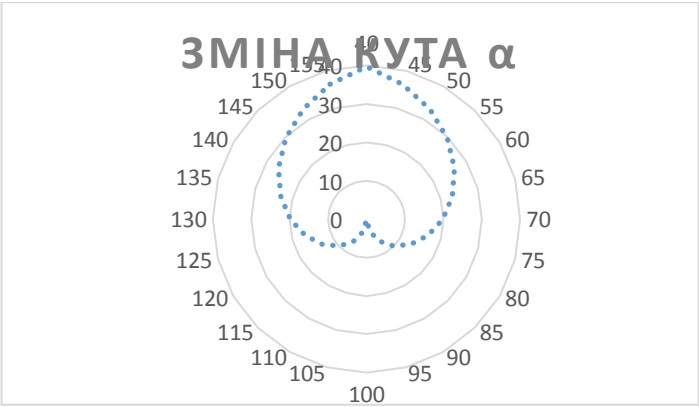


Рис. 3. Діаграма розподілу кута *α* при відхилення L від L_T

Запропонований алгоритм руху автономного робота дозволяє огинати перешкоди без суттєвих обмежень швидкості на складних ділянках траси, а також миттєво реагувати на зміну дорожньої ситуації.

Література

1. Datasheet GP2Y0A02YK0F Sharp.
2. Matlab в инженерных и научных расчетах А. Ф. Дащенко, В. Х. Кирилов, Л. Л. Колумиец, В. Ф. Оробей; Одесса «Астропринт», 2003
3. Введение в математическое моделирование: Учеб. Пособие / Под ред. П. В. Трусова. – М.: Университетская книга, Логос,2007. – 440 с.

УДК 681.5.015+519.246.8

Марія Стадник
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОЦІНКА ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ УСТАЛЕНИХ ЗОРОВИХ ВИКЛИКАНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ЯК ОДНА З КЛЮЧОВХ ФУНКЦІЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОФТАЛЬМОДІАГНОСТИКИ

Здійснено та обґрунтовано доцільність застосування ортогонального розкладу з використанням системи функцій Чебишева або дискретного перетворення Фур'є усталеного зорового викликаного потенціалу з метою ідентифікації інформативних параметрів та подальшого їх застосування у інформаційній технології офтальмодіагностики. Визначено оптимальну кількість інформативних параметрів, що характеризують досліджуваний сигнал.

Ключові слова: усталений зоровий викликаний потенціал, ортогональний розклад, інформативні параметри, функції Чебишева, функції Кравчука, функції Лагера.

Mariia Stadnyk

THE FEATURE ESTIMATION OF STEADY STATE VISUAL EVOKED POTENTIAL AS ONE OF THE KEY FUNCTION OF INFORMATION TECHNOLOGY OF THE OPHTHALMOLOGIC DIAGNOSTICS

The expediency of the usage of the orthogonal decomposition with the Chebyshev system or the discrete Fourier transform of the steady-state visual evoked potential was done and substantiated in order to identify informative parameters and further use of it in information technology in Ophthalmology. The optimal number of informative parameters that characterize the investigated signal is determined.

Keywords: steady-state visual evoked potential, orthogonal decomposition, informative parameters, Chebishev functions, Kravchuk functions, Lager functions.

Усталений зоровий викликаний потенціал (ЗВП) є частинним випадком електроенцефалограми людини зареєстрованої з відповідних позицій розміщення електродів на поверхні скальпа, що відповідають зоровій активності (зазвичай O_1 та O_2 згідно Міжнародної системи 10-20 накладання електродів) та спричиненої зовнішньою високочастотною стимуляцією (4-25 Гц) зорового аналізатора. В залежності від джерела стимуляції усталені ЗВП поділяються на патернові (зміна патерна на моніторі, просторово-структурні стимули) та спалахові (спалах світлодіодів, світлові стимули).

Усталені ЗВП використовуються в клінічні діагностиці зорової системи людини у випадку, коли пацієнт не в змозі надати відповідь, в післяопераційний період; в когнітивній діагностиці, а саме: оцінка візуальної уваги, робочої пам'яті, бінокулярного зору, альфа ритму.

Для забезпечення однієї із ключових функцій інформаційної технології – діагностики, необхідно перш за все виконати аналіз та опрацювання досліджуваного сигналу з метою виявлення та оцінки інформативних параметрів, які би достатньо характеризували усталений ЗВП.

Математичною моделлю усталеного ЗВП було обґрунтовано та обрано лінійний *T*-періодичний випадковий процес:

$$\xi(t+T)=\int_{-\infty}^{\infty}\varphi(\tau+T,t+T)d\eta(\tau+T), \tag{1}$$

де $\varphi(\tau,t)$ – невипадкова функція, котра набуває при кожному $t\in T$ рівномірно за τ скінченних значень; а $\eta(\tau), \mathbf{P}\{\eta(0)=0\}=1, \tau\in(-\infty,\infty)$ – дійсний стохастично неперервний випадковий процес із незалежними приростами.

Для оцінки ймовірнісних характеристик усталеного ЗВП було використано відомий метод $\varphi-$серій для лінійних періодичних випадкових послідовностей. В результаті було отримано оцінки математичного сподівання, дисперсії та кореляційної функції усталеного ЗВП. З метою отримання інформативних параметрів було використано ортогональні розклади функцій Чебишева, Кравчука та Лагера.

Базис функцій Кравчука задається наступним чином:

$$\left\{ f_k(x)=\frac{k_k(x)U(x,0,N)\sqrt{j(x)}}{\|k_k\|}\right\}, x\in(-\infty,\infty), k=\overline{0,N}, \tag{2}$$

де $\|k_k\|=\sqrt{\binom{N}{k}(p\cdot q)^k}$ – норма полінома Кравчука; $k_k(x)=\frac{1}{n!}\sum_{k=0}^{n}(-1)^{n-k}\binom{n}{k}p^{n-k}(N-k)^{[n-k]}x^{[k]}, n\in\overline{[0,N]}.$ – поліноми Кравчука. $U(x,a,b)=U(x-a)(b-x)=\begin{cases}1, a\le x\le b,\\ 0, x<a \,||\, x>b.\end{cases}$

На рис. 1 представлено спектру ортогонального розкладу отриманого з використанням базису функцій Кравчука для математичного сподівання усталеного ЗВП отриманого при частоті стимуляції 10Гц.

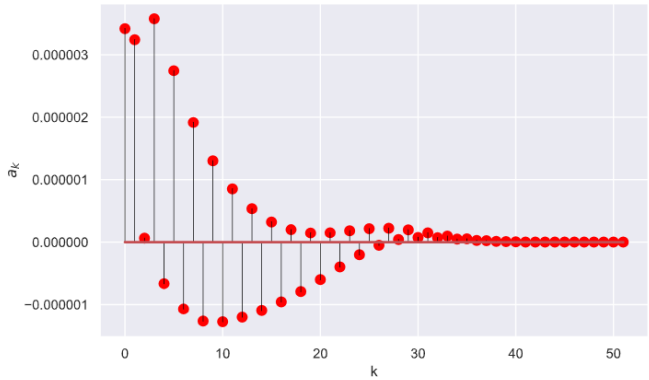


Рис. 1. Спектр коефіцієнтів розкладу усталеного ЗВП за базисом функцій Кравчука

Ортонормований базис функцій Чебишева, які є ортогональними на скінченному інтервалі та співпадають із ортонормованими поліномами Чебишева дискретного аргументу, заданий наступним чином:

$$\left\{ f_k(x)=t_k(x)U(x,0,N)\|t_k\|^{-1}\right\}, x\in(-\infty,\infty), k=\overline{0,N}, \tag{3}$$

де $t_n(x)=\sum_{k=0}^{n}(-1)^{n-k}\binom{n}{k}\binom{n+k}{k}\frac{(N-1)^{[n]}}{(N-1)^{[k]}}x^{[k]}$, $n\in\overline{[0,N-1]}$ поліноми Чебишева, $\|t_k\|$ – норма полінома Чебишева.

На рис. 2 представлено спектру ортогонального розкладу отриманого з використанням базису функцій Чебишева для того ж самого досліджуваного сигналу.

Система базисних функцій Лагера визначається наступним чином:

$$\left\{ f_k(x)=(-1)^k e^{\frac{-\lambda x}{2}} l_k(x)\hat{l}_k(x)U(x) \right\},\ x\in(0,\infty),\ k=\overline{0,\infty}, \tag{4}$$

де $\hat{l}_k(x)=\sqrt{e^{\lambda k}(1-e^{-\lambda})}$; $l_k(x)=(-1)^n\sum_{k=0}^{n}(-1)^k\binom{n}{k}\frac{(x+k)^{[n]}}{n}e^{-\lambda k}$ – поліноми Лагера.

На рис. 3 представлено спектру ортогонального розкладу отриманого з використанням базису функцій Лагера для математичного сподівання усталеного ЗВП отриманого при частоті стимуляції 10Гц.

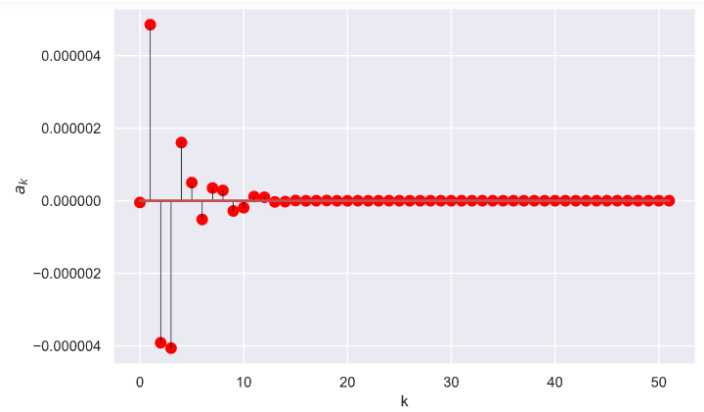


Рис. 2. Спектр коефіцієнтів розкладу усталеного ЗВП за базисом функцій Чебишева

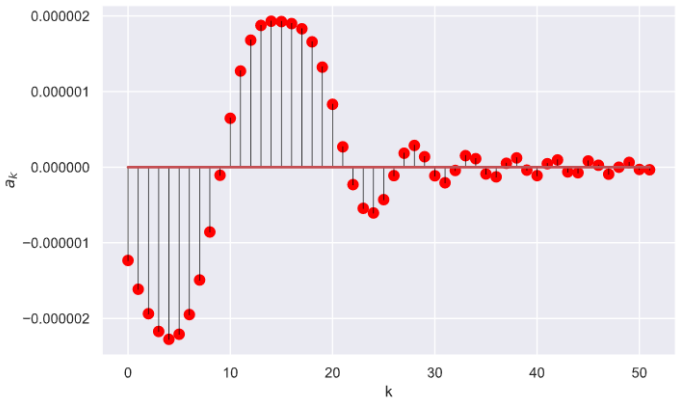


Рис. 3. Спектр коефіцієнтів розкладу усталеного ЗВП за базисом функцій Лагера

На основі нерівності Бесселя або теореми Парсеваля введемо функцію $e(N)$, яка буде відображати відсоток енергії, яку відновлюють (несуть) перші k коефіцієнтів ортогонального розкладу відносно загальної енергії сигналу визначеного:

$$e(N)=\sum_{k=0}^{N-1}a_k^{\ 2}\Big/\sum_{i}^{N-1}F(x_i)^2. \tag{5}$$

Представимо графік залежності (рис.4) між сумою квадратів коефіцієнтів ортогональних розкладів за базисом функцій Чебишева, Лагера, Кравчука, дискретного перетворення Фур'є та нормованою до одиниці енергією досліджуваного сигналу.

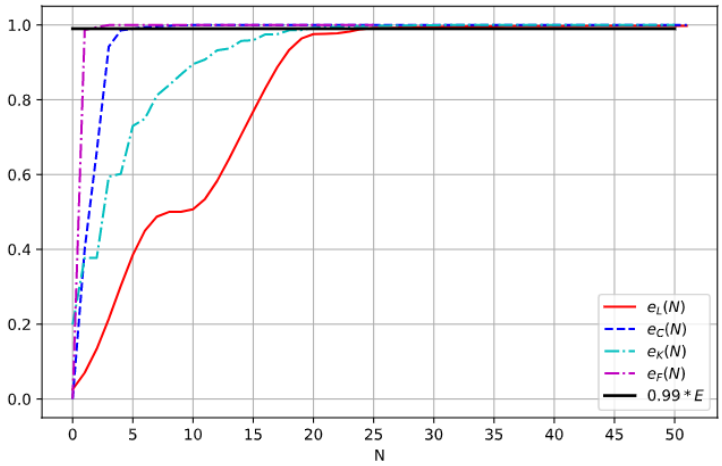


Рис. 4. Графік залежності між сумою квадратів коефіцієнтів розкладу та енергією досліджуваного сигналу E ($e_L(N)$ – при використанні системи базисних функцій Лагера, $e_C(N)$ – функцій Чебишева, $e_K(N)$ – функцій Кравчука, $e_F(N)$ – дискретного перетворення Фур'є)

Аналіз графіків на рис.4 показує, що для того, щоб коефіцієнти розкладу відображали не менше ніж 0.99% енергії, необхідно взяти 7 коефіцієнтів, використовуючи систему функцій Чебишева, 17 – для функцій Кравчука, 23 – для функцій Лагера та 3-4 для дискретного перетворення Фур'є. Звичайно необхідно врахувати, що для обчислення статистики (5) значення першої половини коефіцієнтів множилось на два, зважаючи на особливості спектру отриманого за допомогою перетворення Фур'є.

Результати представлені у таблиці 1 відображають залежність між кількістю інформативних параметрів усталеного ЗВП та частотою стимуляції.

Таблиця 1.

Кількість складових ортогонального розкладу для відновлення 99% енергії сигналу усталеного ЗВП з різною частотою стимуляції

Ортогональні функції дискретного аргументу	Частота стимуляції при реєстрації уЗВП, Гц		
	7	**10**	**12**
Чебишева	9	7	7
Кравчука	27	20	21
Лагера	28	23	24
Дискретне перетворення Фур'є	5	4	4

Висновки. Збільшення частоти стимуляції при реєстрації усталеного ЗВП призводить до зменшення кількість складових ортогонального розкладу. На основі аналізу результатів розкладу математичного сподівання усталеного ЗВП (частота стимуляції 10Гц) інформативними параметрами будемо вважати 7 перших коефіцієнтів розкладу за базисом функцій Чебишева або 4 коефіцієнти дискретного перетворення Фур'є, що будуть в подальшому використані для діагностики.

УДК 519.816

Надія Тимофієва, д-р техн. наук, ст. наук. співр.
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, Україна

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СХЕМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ІЗ СЕМАНТИКИ

Розглянуто задачі, які виникають в штучному інтелекті та відносяться до семантики. Показано, що розпізнавання багатодикторного мовлення, розпізнавання чоловічого, жіночого та дитячого голосу, задача клінічної діагностики відносяться до задач із семантики, тому що в них досліджується заданий об'єкт на зміст. Розглядаються способи встановлення їхньої суті автоматичним способом.

Ключові слова: семантика, штучний інтелект, комбінаторна конфігурація, розпізнавання мовлення, клінічна діагностика.

Nadija K. Tymofijeva

ABOUT COMPUTING SCHEMES OF SOLVING A SEMANTIC PROBLEM

The problems that arise in artificial intelligence and relate to semantics are considered. It is shown that the recognition of multidirectional speech, the recognition of male, female and child voices, problem of clinical diagnostics relate to problems of semantics, because they examine the given object on the content. Methods of installation are considered to establish their essence in an automatic way.

Keywords: Semantics, Artificial Intelligence, Combination Configuration, Speech Recognition, Clinical Diagnostics.

Вступ. Розглядаються деякі задачі із семантики, які відносяться до штучного інтелекту. Будуються їхні математичні моделі з використанням теорії комбінаторної оптимізації та проведено спробу автоматизувати їхній розв'язок.

Постановка задачі. Задачі із семантики, які потребують встановлення суті предмета, досить складні для автоматизації їхнього розв'язання. В статті наводяться обчислювальні схеми розв'язання деяких задач цього класу.

Підхід, що пропонується. Для автоматизації розв'язання задач із семантики розроблено їхні математичні моделі з використанням теорії комбінаторної оптимізації. Показано, що вхідні дані та аргумент цільової функції в них є комбінаторні конфігурації різних типів. З використанням їхніх властивостей розроблено обчислювальну схему розв'язання цих задач.

Основна частина. Семантика в мовознавстві вивчає смисл слів, речення, а в інших науках – певні об'єкти з точки зору їхньої суті. Вона має місце в різних галузях: мовознавстві, комп'ютерних науках, зокрема і в штучному інтелекті. Як інструмент для її вивчення використовують семантичний аналіз, який встановлює значення об'єкта, що розглядається. Для побудови моделей задач цього класу використовують семантичне моделювання.

До задач із семантики віднесемо такі, в яких необхідно встановити суть об'єкта. Це – розпізнавання дитячого, жіночого, чоловічого голосу, багатодикторне мовлення, задача клінічної діагностики, порівняння текстів на плагіат тощо. Ці задачі відносяться до задач розпізнавання. В них, крім кількості операцій, затрачених на знаходження глобального розв'язку, необхідно ураховувати і міри подібності, які в задачах цього класу відіграють основну роль та від вибору яких в значній мірі залежить сам розв'язок. Розв'язання задач розпізнавання вимагає уведення певної ознаки подібності, яка

оцінюється за шкалою "так" або "ні". Позначимо $g^{+}(x,y)=1$ міру подібності, за допомогою якої отримуємо глобальний розв'язок, x,y – об'єкти, що порівнюються. Якщо $g^{-}(x,y)=0$, то за вибраною мірою не знаходимо жодного розв'язку; якщо $g_j(x,y)\in\{1,...,0\}$, то вибрана міра дозволяє знайти допустимий розв'язок. Тобто, якщо $g^{+}(x,y)=1$, то задача є розв'язною за ознакою подібності або за структурою вхідних даних. Задача пошуку еталону в бібліотеці еталонів, що відповідає вхідним даним, повним перебором є NP-повна. Але вона стає поліноміально розв'язною, якщо за певними ознаками проведено структуризацію бібліотеки еталонів.

Розпізнавання дитячого, жіночого, чоловічого голосу. Задача розпізнавання дитячого, жіночого, чоловічого голосу проводиться шляхом аналізу сигналу на значення амплітуди, довжини періоду основного тону. Ця задача є розв'язною, оскільки оговорені параметри можна описати достатньо строго. В ній встановлюється суть предмету, тому її можна віднести до задач із семантики. В цій задачі в деяких випадках може бути ситуація невизначеності, якщо чоловік має жіночий голос і навпаки – жінка має чоловічий голос. Завдяки уведенням додаткових умов цю задачу можна звести до частково розв'язної.

Подамо обчислювальну схему її розв'язання.

1. Проведемо сегментацію вхідного сигналу, який описується комбінаторною конфігурацією (розміщення з повтореннями), на періодичні та неперіодичні ділянки алгоритмом [1], а в періодичних виділимо майже періоди.

2. За результатами сегментації встановимо середню довжину періоду основного тону (частоти сигналу).

3. Визначимо середнє значення амплітуди сигналу.

4. Порівняємо отримані дані з еталонними.

5. Встановимо тип голосу (дитячий, жіночий чи чоловічий).

Багатодикторне мовлення. Мовленнєві сигнали, що відповідають одному і тому ж слову, але вимовлені різними дикторами, відрізняються як частотою так і величиною амплітуди. Тут, як і в розпізнаванні мовлення, проводиться знаходження для вхідного сигналу найбільш правдоподібного еталону з усіх можливих еталонних сигналів. Але для розпізнавання необхідно проводити адаптацію до голосу нового диктора. Ця задача частково відноситься до семантичного аналізу, оскільки необхідно розпізнати індивідуальний голос.

Мовленнєвий сигнал, який є вхідною інформацією, описується комбінаторною конфігурацією (розміщення з повтореннями). Подамо його мультимножиною. Вона формально визначається як пара (A,m) де $m:\ A\to N$ функція з A в множину N натуральних чисел, тобто кожному елементу множини A відповідає певне натуральне число, яке називається кратністю цього елемента. Мовленнєвий сигнал задамо послідовністю $f|_1^{\tilde{n}}=(f_1,f_2,...,f_{\tilde{n}})$, де f_j – значення амплітуди у відліку j заданого сигналу. Наведемо обчислювальну схему розв'язання цієї задачі.

1. Проведемо сегментацію вхідного сигналу на майже періодичні та неперіодичні ділянки алгоритмом [1].

2. Поточний майже період розділимо на k відліків та опишемо його мультимножиною, яку задамо основою $(f|_1^k,m)$, де k – величина, яка визначається експериментально і повинна бути однакова для будь-якого відрізку сигналу. В j-му відліку повинно бути лише одне значення f_j.

3. Еталон, за яким установлюється подібність майже періоду, моделюється аналогічно.

4. Визначимо подібність вхідного сигналу та еталонного за виразом $\left|f_j - f_j^{'}\right| \le \varepsilon$ та $\left|m_j - m_j^{'}\right| \le \varepsilon^{'}$, де $f_j^{'}$ – значення сигналу еталона у відліку j, $m_j^{'}$ – кратність елемента $f_j^{'}$, ε, $\varepsilon^{'}$ – мінімальні величини, за якими встановлюється подібність вхідного і еталоного сигналів, визначаються експериментально.

Розпізнавання мовлення. При розпізнаванні мовлення шляхом порівняння встановлюється дослівна подібність вхідного сигналу та еталону без аналізу на смислове значення слів (речення). Оскільки розпізнавання мовлення не встановлює значення слова чи речення, то ця задача не відноситься до задач семантики. Але, якщо при розпізнаванні мовлення певне слово, яке передається вхідним сигналом, розпізнається неправильно, то постає задача встановлення його суті, що є проблемою семантики. В цьому разі її розв'язання проводиться в умовах невизначеності.

Задача клінічної діагностики. Ця задача полягає у знаходженні для множини ознак, які характеризують захворювання пацієнта та є вхідними даними, найбільш правдоподібного одного або кількох еталонів із множини захворювань, тобто за вхідними ознаками встановлюється одне або кілька захворювань [2]. Ознаки в цій задачі відіграють роль критеріїв, за якими оцінюється її розв'язок. Оскільки в ній встановлюється суть об'єкту, то її віднесемо до задач із семантики.

Побудуємо математичну модель задачі клінічної діагностики як задачу комбінаторної оптимізації [2]. Позначимо $A = \{a_1,...,a_n)$ множину захворювань, описання яких знаходиться в бібліотеці (множина еталонів), де елемент $a_s \in A,\ s \in \{1,...,n\}$, відповідає певному захворюванню, якому поставлено у відповідність характерні ознаки $V^{(t)} = (v_1^{(t)}, v_2^{(t)},..., v_{q_t}^{(t)})$, q_t – кількість ознак t-го захворювання. Вхідною інформацією в задачі клінічної діагностики є множина ознак $\tilde{V} = (\tilde{v}_1, \tilde{v}_2,..., \tilde{v}_{\tilde{q}})$, що описує одне або кілька захворювань. Позначимо їх $B = \{b_1,...,b_{\tilde{n}}\}$, де $b_p \in B$, $p \in \{1,...,\tilde{n}\}$ – захворювання, яке потрібно визначити, $\tilde{n}$ – кількість можливих захворювань, а $q_t \ne \tilde{q}$ або $q_t = \tilde{q}$. Ознаки $\tilde{v}_r \in \tilde{V}$ вхідної інформації мають той же зміст, що і описані в еталоні ознаки $v_l^{(t)} \in V^{(t)}$, $r \in \{1,...,\tilde{q}\}$, $l \in \{1,...,q_t\}$.

Задача полягає у знаходженні для B із множиною ознак $\tilde{V}$ найбільш правдоподібного одного або кількох еталонів із множини $A = \{a_1,...,a_n)$, тобто за вхідними ознаками встановлюється одне або кілька захворювань $b_p \in B$. Ознаки в цій задачі відіграють роль критеріїв, за якими оцінюється її розв'язок.

При встановленні діагнозу виникають такі ситуації:

- якщо $\tilde{q} = q_t$ і для будь-якого $\tilde{v}_r \in \tilde{V}$ існує в $V^{(t)}$ однаковий елемент $v_s^{(t)}$, $r = \overline{1,\tilde{q}}$, $s \in \{1,...,q_t\}$, а в бібліотеці не існує іншого аналогічного еталону, то задача клінічної діагностики є розв'язною.
- якщо $\tilde{q} \le q_t$ і для будь-якого $\tilde{v}_r \in \tilde{V}$ існує в $V^{(t)}$ однаковий елемент $v_s^{(t)}$, а в бібліотеці є еталони, при порівнянні яких із вхідними ознаками значення цільової функції – однакове, то при розв'язанні задачі клінічної діагностики виникає ситуація невизначеності, яку необхідно розв'язувати диференціальним діагнозом з урахуванням додаткових критеріїв.
- якщо $\tilde{q} > q_t$, то вхідні дані описують кілька захворювань або вони містять дані, які не занесено в бібліотеку. В цьому випадку необхідно забезпечити автоматичне

внесення нової інформації, тобто на етапі розроблення програм необхідно забезпечити процес самонавчання системи.

Для розв'язання цієї задачі необхідно провести пошук певного еталону в бібліотеці та порівняти його із вхідними ознаками. Тобто, ця задача розділяється на дві підзадачі: а) задача порівняння ознак еталону та вхідних ознак, за якими встановлюється діагноз; б) задача перебору еталонів.

Розглянемо задачу *порівняння* ознак еталону $V^{(t)} = (v_1^{(t)}, v_2^{(t)}, ..., v_{q_t}^{(t)})$, які визначають t-е захворювання, та вхідних ознак $\tilde{V} = (\tilde{v}_1, \tilde{v}_2, ..., \tilde{v}_{\tilde{q}})$, за якими необхідно встановити діагноз. Позначимо $u_l(v_s^{(t)}, \tilde{v}_r)$ елементарну міру подібності між елементами множин $\tilde{V}$ та $V^{(t)}$. Вважаємо, що числове значення міри подібності між елементами $v_s^{(t)} \in V^{(t)}$ та $\tilde{v}_r \in \tilde{V}$ є вхідними даними та задаються матрицями.

Задача порівняння еталону та вхідних ознак полягає в знаходженні такого розміщення без повторення, для якого змодельовані цільові функції набувають максимального значення.

В задачі *перебору* еталонів $A = \{a_1, ..., a_n\}$ як ваги між елементами $a_s \in A$ та вхідними даними $\tilde{V}$ виступають значення інтегральних мір подібності, одержаних за заданими цільовими функціями при порівнянні ознак еталону та вхідних ознак.

Задача пошуку бібліотечного еталону, який відповідає вхідному, полягає у знаходженні такого сполучення без повторення, для якого значення часткових критеріїв, за якими оцінюється результат розв'язку, були б найбільшими.

Як видно з постановки задачі перебору еталонів, пошук еталону, подібного до вхідного $\tilde{V}$, потребує повного перебору. Цю задачу можна звести до розв'язної шляхом структуризації бібліотеки еталонів за певними ознаками, наприклад за типом захворювання. Кожне захворювання має описуватися множиною ознак, які задають клінічні форми і стадії. Окремо варто виділити захворювання, які характеризуються однаковими ознаками, а також визначити однакові для групи захворювань ознаки, що дозволить звужувати область оптимального пошуку. Тобто, на етапі структуризації бібліотеки розв'язується задача кластеризації, аргументом цільової функції в якій є розбиття n-елементної множини на підмножини.

Висновки. Отже, розглянуті задачі відносяться до семантики, тому, що в них проводиться аналіз предмета на сутність. Вони досить складні для програмної реалізації. Тому не всі задачі цього класу можна розв'язувати автоматично. Для них характерна ситуація невизначеності, пов'язана з неповною вхідною та поточною інформацією, яку не завжди можна задати у вхідних даних чи бібліотеці еталонів.

Література

1. Тимофієва Надія Ітераційний алгоритм автоматичного визначення квазіперіодичних і неперіодичних ділянок мовного сигналу // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів. Третя Всеукр. Міжнародн. конференція. Київ, 26–30 листопада 1996 року.– К.: 1996. – С. 132–134.

2. Тимофієва Н.К., Гриценко В.И. Аргумент цільової функції в задачі клінічної діагностики // УСиМ. – 2012. – № 3 – С. 3 – 14.

УДК 536.2

Борис Шелестовський, к. ф.-м. н., доц., Володимир Михайлишин
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В СИСТЕМІ ТІЛ ЦИЛІНДР-ПІВПРОСТІР

Побудовано розв'язок осесиметричної температурної задачі для системи тіл циліндр-півпростір при неідеальному тепловому контакті між циліндром та півпростором. Одержано формули для визначення температурних полів при різних варіантах температурних умов на бічних поверхнях циліндра і півпростору. Досліджено вплив контактної провідності на розподіл температури в зоні контакту.

Ключові слова: температура, циліндр, півпростір, неідеальний тепловий контакт, інтегральне рівняння.

Boris Shelestovs'kyi, V. Myhaylyshyn

MATHEMATICAL MODELLING OF THE HEAT CONDUCTIVITY PROCESS IN THE CYLINDER - HALF-SPACE BODY SYSTEM

The solution of the axes-symmetric temperature task for the body system cylinder-semispace under non-ideal heat contact between cylinder and semispace have been built. Formula for determination temperature fields under different temperature conditions on the surfaced of the cylinder and semispace have been obtained. The influence of the contact conductivity on the temperature distribution in the contact area has been investigated.

Keywords: temperature, cylinder, half-space, nonideal thermal contact, integral equation.

Розглянемо круговий циліндр радіуса R і довжиною L, який знаходиться в неідеальному тепловому контакті з півпростором. На вільному торці циліндра підтримується постійна температура T_0, матеріали тіл є ізотропними. Границя півпростору поза циліндром має нульову температуру, а бічна поверхня циліндра теплоізольована. Необхідно визначити температурне поле у циліндрі та півпросторі. Введемо циліндричну систему координат r, θ, z, центр якої лежить на поверхні півпростору, а вісь Oz спрямована вздовж осі циліндра. Всі величини, які позначені індексом "1", відносяться до півпростору, без індексів – до циліндра.

Математична модель задачі наступна:

Граничні умови

$$\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} = \lambda_z^1 \frac{\partial T^1}{\partial z}, \quad \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} = h_0 \left(T^1 - T\right) \quad \left(0 \le r \le R, \ z = 0\right), \tag{1}$$

$$T^1 = 0 \quad \left(R \le r < \infty, \ z = 0\right). \tag{2}$$

$$T = T_0 \quad \left(0 \le r \le R, \ z = L\right) . \tag{3}$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad \left(r = R, \ 0 \le z \le L\right) . \tag{4}$$

Температурне поле T визначається із рівняння

$$\nabla^2 T = 0 . \tag{5}$$

Для циліндричної області розв'язок рівняння (5) будуємо методом Фур'є:

$$T(r,\ z)=A_0+B_0z+D_0\left(r^2-2z^2\right)+\sum_{k=1}^{\infty}J_0\left(\beta_k r\right)\left(A_k sh\beta_k z+B_k ch\beta_k z\right)+$$

$$+\sum_{k=1}^{\infty}I_0\left(\gamma_k r\right)\left(C_k\sin\gamma_k z+D_k\cos\gamma_k z\right), \qquad (6)$$

де A_k, B_k, C_k, D_k – довільні постійні; $J_0\left(\beta_k r\right)$ – функція Бесселя першого роду дійсного аргументу; $I_0\left(\beta_k r\right)$ – функція Бесселя першого роду уявного аргументу; β_k, γ_k – власні значення, які визначаються із граничних умов.

Застосовуючи інтегральне перетворення Ганкеля до (5), одержимо зображення температури в півпросторі через довільну функцію $\varphi_1(\eta)$:

$$T^1(\rho,\varsigma)=\int_0^{\infty}\varphi_1(\eta)e^{-\eta\varsigma}\,J_0(\eta\rho)\,d\eta, \qquad (7)$$

де $\rho=\dfrac{r}{R}$, $\varsigma=\dfrac{z}{R}$.

Задовольняючи граничну умову (3), отримаємо:

$$T(\rho,\varsigma)=T_0\left\{1+C_0^1\frac{\lambda_z^1}{\lambda_z}(\varsigma-l)-\frac{\lambda_z^1}{\lambda_z}\sum_{k=1}^{\infty}C_k^{(1)}J_0(\mu_k\rho)\frac{sh\mu_k(l-\varsigma)}{ch\mu_k l}\right\},\ \ l=\frac{L}{R}. \qquad (8)$$

тут $C_k^{(1)}$ – нескінченна система постійних.

Задоволення першої умови (1) і умови (2) приводить до парних інтегральних рівнянь відносно функції $\varphi_1(\eta)$:

$$\int_0^{\infty}\eta\varphi_1(\eta)J_0(\eta\rho)\,d\eta=T_0\left(C_0^{(1)}+\sum_{k=1}^{\infty}\mu_k C_k^{(1)}J_0(\mu_k\rho)\right)\ \ (\rho<1), \qquad (9)$$

$$\int_0^{\infty}\varphi_1(\eta)J_0(\eta\rho)\,d\eta=0\ \ (\rho>1), \qquad (10)$$

розв'язок яких отримаємо у вигляді:

$$\varphi_1(\eta)=\frac{2}{\pi}T_0\left[C_0^{(1)}\frac{1}{\eta}\left(\frac{\sin\eta}{\eta}-\cos\eta\right)+\sum_{k=1}^{\infty}\mu_k C_k^{(1)}\int_0^1\sin\eta\sin\mu_k y\,dy\right]. \qquad (11)$$

Друга умова (1), з врахуванням співвідношень (7), (8), запишеться так:

$$\int_0^{\infty}\varphi_1(\eta)J_0(\eta\rho)\,d\eta=T_0\left\{1-\left(\frac{\lambda_z^1}{\lambda_z}l-\frac{\lambda_z^1}{h_0R}\right)C_0^{(1)}-\sum_{k=1}^{\infty}\left(\frac{\lambda_z^1}{\lambda_z}th\mu_k l-\frac{\lambda_z^1}{h_0R}\mu_k\right)C_k^{(1)}J_0(\mu_k\rho)\right\}.$$

(12)

Підставляючи (11) в (12), отримаємо:

$$\frac{2}{\pi}T_0C_0^{(1)}\int_0^{\infty}\frac{J_0(\eta\rho)}{\eta}\left(\frac{\sin\eta}{\eta}-\cos\eta\right)d\eta+\frac{2}{\pi}T_0\sum_{k=1}^{\infty}\mu_k C_k^{(1)}\int_0^{\infty}J_0(\eta\rho)\,d\eta\int_0^1\sin\eta\,y\sin\mu_k y\,dy=$$

$$=T_0\left\{1-\left(\frac{\lambda_z^1}{\lambda_z}l-\frac{\lambda_z^1}{h_0R}\right)C_0^{(1)}-\sum_{k=1}^{\infty}\left(\frac{\lambda_z^1}{\lambda_z}th\mu_k l-\frac{\lambda_z^1}{h_0R}\mu_k\right)C_k^{(1)}J_0(\mu_k\rho)\right\}\ \ (\rho<1). \qquad (13)$$

Помноживши рівність (13) на ρ та $\rho J_0\left(\mu_n\rho\right)$ і проінтегрувавши в межах від 0 до 1, отримаємо систему алгебраїчних рівнянь відносно $C_k^{(1)}$.

$$\alpha_k^{(1)}C_k^{(1)}+\sum_{n=0}^{\infty}\alpha_{k,n}^{(1)}C_n^{(1)}=\gamma_k^{(1)}\quad\left(k=0,1,...\right),\quad \alpha_0^{(1)}=\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda_z^1}{\lambda_z}l-\frac{\lambda_z^1}{h_0R}\right)+\frac{2}{3\pi}. \qquad (14)$$

$$\alpha_0^{(1)}=\frac{2}{\pi}\int_0^1\rho d\rho\int_0^{\infty}J_0\left(\eta\rho\right)d\eta\int_0^1\sin\eta y\sin\mu_k ydy=\frac{2}{\pi\mu_k}\left(\frac{\sin\mu_k}{\mu_k}-\cos\mu_k\right), \qquad (15)$$

$$\gamma_0^{(1)}=\frac{1}{2};\quad \alpha_k^{(1)}=\frac{2}{\pi}\int_0^1\rho J_0\left(\mu_k\rho\right)d\rho\int_0^{\infty}\frac{J_0\left(\eta\rho\right)}{\eta}\left(\frac{\sin\eta}{\eta}-\cos\eta\right)d\eta=\frac{2}{\pi\mu_k^2}\left(\frac{\sin\mu_k}{\mu_k}-\cos\mu_k\right),$$

$$\alpha_{k,n}=\frac{2}{\pi}\mu_n\int_0^1\rho J_0\left(\mu_k\rho\right)d\rho\int_0^{\infty}J_0\left(\eta\rho\right)d\eta\int_0^1\sin\eta y\sin\mu_k ydy=$$

$$=\frac{2}{\pi}\mu_n\frac{\mu_n\sin\mu_k\cos\mu_n-\mu_k\sin\mu_n\cos\mu_k}{\mu_k^2-\mu_n^2},$$

$$\alpha_{k,n}^{(1)}=\begin{cases}\alpha_{k,n} & k\neq n,\\ \alpha_{k,n}+\left(\dfrac{\lambda_z^1}{\lambda_z}th\mu_n l-\dfrac{\lambda_z^1}{h_0R}\mu_n\right)\dfrac{J_0^2\left(\mu_n\right)}{2}, & k=n,\end{cases}$$

$$\gamma_k^{(1)}=0\quad\left(k=1,2,...\right).$$

Якщо бічні поверхні циліндра і півпростору теплоізольовані, то замість умови (2) маємо

$$\frac{\partial T^1}{\partial z}=0\quad\left(R\le r\le\infty,\ z=0\right).$$

Задача зводиться до визначення деяких постійних $C_k^{(2)}$ із нескінченної системи рівнянь виду (14).

Температурне поле в циліндрі визначається за формулою (13) шляхом заміни постійних $C_0^{(1)}$ і $C_k^{(1)}$ відповідно на $C_0^{(2)}\dfrac{\lambda_z}{\lambda_z^1}$ і $C_k^{(2)}\dfrac{\lambda_z}{\lambda_z^1}cth\mu_k l$, а в півпросторі – за формулою (7) через функцію $\varphi_2\left(\eta\right)$, де

$$\varphi_2\left(\eta\right)=T_0\left(1-C_0^{(2)}\right)\frac{\sin\eta}{\eta}-\frac{2}{\pi}T_0\sum_{k=1}^{\infty}C_k^{(2)}\int_0^1\cos\eta\, y\cos\mu_k ydy.$$

Визначивши необхідну кількість постійних $C_n^{(i)}$ можна знайти температурні поля і градієнт, а також термопружні потенціали і напруження від них в будь-якій точці циліндра і півпростору.

Розглянуто числовий приклад. Так як системи рівнянь є квазірегулярними при будь-яких співвідношеннях теплофізичних характеристичних тіл, то розв'язок їх знаходимо методом редукції із усічених систем. При цьому розв'язували систему 30-ти лінійних алгебраїчних рівнянь з 30-ма невідомими.

УДК 621.391:519.72

Роман Юзефович[1,2], д.т.н., доц., Ігор Яворський[1,3], д.ф.-м.н., проф., Іван Мацько[1], к.т.н., Микола Варивода[1]

[1]Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Україна
[2]Національний університет "Львівська політехніка", Україна
[3]Технологічно-природничий університет, Польща

АНАЛІЗ ДИСПЕРСІЇ КОГЕРЕНТНОЇ ОЦІНКИ ВЗАЄМОСПЕКТРАЛЬНОЇ ГУСТИНИ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ

Отримано асимптотичні формули для дисперсії оцінок, які дають можливість дослідити залежність систематичної та середньоквадратичної похибок оцінювання від довжини відрізка реалізації, точки усічення корелограми, а також спектральних характеристик сигналу.

Ключові слова: періодично нестаціонарні вібраційні сигнали, спектральний аналіз, взаємокореляційна функція, дисперсія.

Roman Yuzefovych, Ihor Javorskyj, Ivan Matsko, Mykola Varyvoda

ANALYSIS OF COHERENT ESTIMATOR VARIANCE OF CROSS-SPECTRAL DENSITY FOR PERIODICALLY CORRELATED RANDOM PROCESSES

The asymptotic formulae for estimator variance, which allow to investigate dependences of systematic and mean square errors of estimation on realization length, point of correlogram cutoff and spectral characteristics of signal are derived.

Keywords: periodically non-stationary vibration signals, spectral analysis, cross-correlation function, variance.

У процесі тривалої експлуатації обертових механізмів відбуваються технологічні зміни, які призводять до суттєвих змін властивостей сигналу у спектральній області, а саме до корельованості відповідних гармонічних складових [1–3]. Ступінь та характер такої корельованості описується спектральними характеристиками періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП). Взаємний спектральний аналіз сигналів, відібраних у різних точках механічної системи, дозволяє досліджувати залежності між гармонічними складовими вібрацій і завдяки цьому більш успішно розв'язувати задачі локалізації та типізації дефектів [4].

Оцінювання взаємоспектральних характеристик за експериментальними даними здійснюють як за періодограмним [5], так і корельограмним [1] методами. За останнім оцінки взаємоспектральних характеристик знаходяться на основі інтегральних перетворень Фур'є згладжених оцінок взаємоспектральних характеристик. Для оцінки взаємоспектральної густини маємо:

$$\hat{f}_{\xi\eta}(\omega,t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\hat{b}_{\xi\eta}(t,u)k(u)e^{-i\omega u}\mathrm{d}u\,, \tag{1}$$

де $k(u)$ – функція вікна: $k(-u)=k(u)$, $k(0)=1$, $k(u)=0$, при $|u|>u_m$, u_m – точка усічення корелограми. Для знаходження оцінки взаємокореляційної функції $\hat{b}_{\xi\eta}(t,u)$ можуть бути використані як когерентний, так і компонентний методи. Вибір того чи іншого методу приводить до специфічних властивостей оцінки (1). Розглянемо аналіз

дисперсії оцінки (1) для випадку, коли оцінка взаємокореляційної функції обчислюється за когерентним методом, тобто

$$\hat{b}_{\xi\eta}(t,u)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\xi(t+nT)\eta(t+u+nT)-\hat{m}_{\xi}(t)\hat{m}_{\eta}(t+nT), \qquad (2)$$

де

$$\hat{m}_{\xi}(t)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\xi(t+nT),$$

$$\hat{m}_{\eta}(t)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\eta(t+nT).$$

Дисперсія оцінки (1) визначається формулою:

$$D\left[\hat{f}_{\xi\eta}(\omega,t)\right]=\frac{1}{4\pi^2}\int_{-u_m}^{u_m}\int_{-u_m}^{u_m}R_{\hat{b}_{\xi\eta}}(t,u_1,u_2)e^{i\omega(u_2-u_1)}du_1du_2, \qquad (3)$$

де $R_{\hat{b}_{\xi\eta}}(t,u_1,u_2)=E\hat{b}_{\xi\eta}(t,u_1)\hat{b}_{\xi\eta}(t,u_2)-E\hat{b}_{\xi\eta}(t,u_1)E\hat{b}_{\xi\eta}(t,u_2)$. Когерентну оцінку кореляційної функції (2) можна записати у такому вигляді:

$$\hat{b}_{\xi\eta}(t,u)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\mathring{\xi}(t+nT)\mathring{\eta}(t+u+nT)-\mathring{\hat{m}}_{\xi}(t)\mathring{\hat{m}}_{\eta}(t+nT), \qquad (4)$$

де

$$\mathring{\hat{m}}_{\xi}(t)=\hat{m}_{\xi}(t)-\hat{m}_{\xi}(t)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\left[\xi(t+nT)-m_{\xi}(t+nT)\right]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\mathring{\xi}(t+nT),$$

$$\mathring{\hat{m}}_{\eta}(t)=\hat{m}_{\eta}(t+u)-\hat{m}_{\eta}(t)=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\left[\eta(t+u+nT)-m_{\eta}(t+u+nT)\right]=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\mathring{\eta}(t+u+nT).$$

На основі співвідношення (4) для гауссових ПКВП у першому наближенні отримуємо:

$$R_{\hat{b}_{\xi\eta}}(t,u_1,u_2)=\frac{1}{N}\sum_{n=-N+1}^{N-1}\left(1-\frac{|n|}{N}\right)\begin{bmatrix}b_{\xi}(t,nT)b_{\eta}(t+u_1,u_2-u_1+nT)+\\+b_{\xi\eta}(t,u_2+nT)b_{\xi\eta}(t,u_1-nT)\end{bmatrix}.$$

Запишемо функцію

$$b_{\zeta}(t,nT,u_1,u_2)=b_{\xi}(t,nT)b_{\eta}(t+u_1,u_2-u_1+nT)+b_{\xi\eta}(t,u_2+nT)b_{\xi\eta}(t,u_1-nT),$$

яка періодично змінюється за часом, тому її можна записати у вигляді ряду Фур'є:

$$b_{\zeta}(t,nT,u_1,u_2)=\sum_{k\in\square}\tilde{B}_k^{(\xi\eta)}(nT,u_1,u_2)e^{ik\omega_0 t}.$$

Врахуємо, що

$$b_{\xi}(t,u)=\sum_{k\in\square}\hat{B}_k^{(\xi)}(u)e^{ik\omega_0 t},\ b_{\eta}(t,u)=\sum_{k\in\square}\hat{B}_k^{(\eta)}(u)e^{ik\omega_0 t},$$

$$b_{\xi\eta}(t,u)=\sum_{k\in\square}\hat{B}_k^{(\xi\eta)}(u)e^{ik\omega_0 t},$$

тоді

$$R_{\hat{b}_{\xi\eta}}(t,u_1,u_2)=\sum_{k\in\square}e^{ik\omega_0 t}\left[\frac{1}{N}\sum_{n=-N+1}^{N-1}\left(1-\frac{|n|}{N}\right)\tilde{B}_k^{(\xi\eta)}(nT,u_1,u_2)\right].$$

Вираз для дисперсії (3) можна переписати наступним чином:

$$D\left[\hat{f}_{\xi\eta}(\omega,t)\right]=\sum_{k\in\square}D_k(\omega)e^{ik\omega_0 t}, \qquad (5)$$

де

$$D_l(\omega)=\frac{1}{N}\sum_{n=-N+1}^{N-1}\left(1-\frac{|n|}{N}\right)\left[\frac{1}{4\pi^2}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}k(u_1)k(u_2)\tilde{B}_k^{(\xi\eta)}(nT,u_1,u_2)e^{i\omega(u_2-u_1)}du_1du_2\right].$$

Виразимо кореляційні компоненти через спектральні

$$B_k^{(\xi)}(u)=\int_{-\infty}^{\infty}f_k^{(\xi)}(\omega)e^{i\omega u}d\omega,\ B_k^{(\eta)}(u)=\int_{-\infty}^{\infty}f_k^{(\eta)}(\omega)e^{i\omega u}d\omega,$$

$$B_k^{(\xi\eta)}(u)=\int_{-\infty}^{\infty}f_k^{(\xi\eta)}(\omega)e^{i\omega u}d\omega,$$

а функцію вікна $k(u)$ через вагову функцію:

$$k(u)=\int_{-\infty}^{\infty}\lambda(\omega_2)e^{i\omega_2 u}d\omega_2.$$

Після перетворень знаходимо

$$D_k(\omega)=\sum_{l\in Z}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\begin{bmatrix}\lambda(\omega_1+\omega)\lambda(\omega_1+\omega-l\omega_0)\,f_{k+l}^{(\xi)}(\omega_2)\,f_{-l}^{(\eta)}(\omega_1)\,g(\omega_1+\omega_2,N)+\\+\lambda(\omega+\omega_2)\lambda(\omega-\omega_1)\,f_{l+k}^{(\xi\eta)}(\omega_2)\,f_{-l}^{(\xi\eta)}(\omega_1)\,g(\omega_1+\omega_2,N)\end{bmatrix}d\omega_1d\omega_2,$$

де

$$g(\omega,N)=\frac{1}{N}\sum_{n=-N+1}^{N-1}\left(1-\frac{|n|}{N}\right)e^{i\omega nT}.$$

Функція $\lambda(\omega)$ має гострі піки при нульовому значенні аргументу, тому можна вважати, що $\lambda(\omega_1+\omega)\lambda(\omega_1+\omega+l\omega_0)\approx 0$ для $l\neq 0$. Якщо на ширині спектрального вікна спектральні компоненти змінюються мало, то

$$D_k(\omega)\approx f_0^{(\eta)}(\omega)\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\lambda^2(\omega_1+\omega)\,f_k^{(\xi)}(\omega_2)\,g(\omega_1+\omega_2,N)d\omega_1d\omega_2+$$

$$+\sum_{l\in\square}f_{-l}^{(\xi\eta)}(\omega)\,f_{l+k}^{(\xi\eta)}(-\omega)\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\lambda(\omega-\omega_1)\lambda(\omega+\omega_2)\,g(\omega_2-\omega_1,N)d\omega_1d\omega_2.$$

Провівши певні перетворення і ввівши

$$W(\omega)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}k^2(u)e^{-i\omega u}du, \tag{6}$$

коефіцієнти Фур'є дисперсії оцінки (5) визначаються наближеною формулою

$$D_k(\omega)=\frac{2\pi}{\theta}\left[f_0^{(\eta)}(\omega)W(0)\sum_{p\in Z}f_k^{(\xi)}(\omega+p\omega_0)+\sum_{p\in Z}W(2\omega+p\omega_0)\sum_{l\in Z}f_{-l}^{(\xi\eta)}(\omega)\,f_{l+k}^{(\xi\eta)}(-\omega)\right]. \tag{7}$$

Ці величини прямують до нуля при $\theta \to \infty$. Швидкість їх збіжності залежить як від спектральних характеристик даного ПКВП, так і від форми вибраного вікна, а саме, властивостей функції $W(\omega)$.

Використовуючи (6), а також формулу Пуассона

$$\frac{1}{T}\sum_{l\in Z} e^{\mathrm{i}l\omega_0 u} = \sum_{l\in Z}\delta(u - lT),$$

маємо

$$\sum_{p\in Z} W(2\omega - p\omega_0) = \frac{T}{2\pi}\sum_{p\in Z} k^2(pT)e^{\mathrm{i}2\omega pT},$$

$$W(0) = \frac{1}{2\pi}\int_{-u_m}^{u_m} k^2(u)\,\mathrm{d}u.$$

Останній інтеграл є величиною, обернено пропорційною до так званої еквівалентної смуги частот спектрального аналізу Δf_e [6], при чому $W(0) = (2\pi\Delta f_e)^{-1}$. Еквівалентна смуга частот Δf_e, характеризуючи ширину кореляційного вікна, має вирішальний вплив на точність оцінювання. Оскільки для типових вікон величина $\frac{1}{\Delta f_e}$ набуває значення від $0.5u_m$ до $2u_m$ [7], то при $\frac{u_m}{\theta} \gg 1$ складові (7) будуть незначними за величиною. Отже, при заданій довжині відрізка реалізації θ дисперсія оцінки спектральної густини (1) буде зменшуватися зі зменшенням ширини кореляційного вікна. Вибір параметрів u_m і θ слід проводити, виходячи з конкретної мети спектрального аналізу і сформованих на цій основі критеріїв якості оцінювання з використанням формул (5) і (7).

Література

1. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів: ФМІ НАН України, 2013. – 802 с.
2. Antoni J. Cyclostationarity by examples // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2009. – Vol. 23. – P. 987–1036.
3. Cyclostationarity: Theory and Methods. Lecture Notes in Mechanical Engineering / Ed. F. Chaari, J. Leskow, A. Sanches-Ramirez. – New York: Springer, 2013. – 186 p.
4. Юзефович Р. М. Неруйнівний контроль вузлів складних машинних комплексів за взаємостатистичними характеристиками вібраційних сигналів / Р. М. Юзефович, О. Ю. Дзерин, І. Й. Мацько, І. М. Яворський, І. Г. Стецько // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2017. – № 3. – С. 14–20.
5. Взаємокореляційний когерентний аналіз періодично нестаціонарних випадкових сигналів / Яворський І.М., Юзефович Р.М., Кравець І.Б., Мацько І.Й. // Відбір і обробка інформації. – 2012. – № 36 (112). – С. 5–13.
6. Грибанов Ю.И., Мальков В.Л. Погрешности и параметры цифрового спектрально-корреляционного анализа. – М.: Радио и связь, 1984. – 159 с.
7. Грибанов Ю.И., Мальков В.Л. Спектральный анализ случайных процессов. – М.: Энергия, 1974. – 239 с.

УДК 621.318.4

Анна Яськів
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛОВОГО КЛЮЧА НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНОГО МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ДЛЯ ЙОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Запропоновано нову математичну модель силового ключа на основі високочастотного магнітного підсилювача (ВМП), яка дозволяє його моделювання в системах автоматизованого проектування (САПР) електричних кіл.

Ключові слова: математична модель, ключ на основі високочастотного магнітного підсилювача, САПР, магнітний гістерезис, комп'ютерне імітаційне моделювання.

Anna Yaskiv

MATHEMATICAL MODEL OF A MAGNETIC AMPLIFIER SWITCH FOR ITS COMPUTER SIMULATION

New mathematical model of magnetic amplifier (MagAmp) switch is suggested. It allows MagAmp switch modeling in computer aided design (CAD) programmes for electric circuits.

Keywords: mathematical model, magnetic amplifier switch, CAD programme, magnetic hysteresis, computer simulation.

У джерелах вторинного електроживлення (ДВЕЖ) з високим рівнем струму навантаження та багатоканальних ДВЕЖ як комутаційні елементи використовують високочастотні магнітні підсилювачі (ВМП) на основі аморфних магнітом'яких сплавів з прямокутною петлею гістерезису. Однак, процес проектування таких ДВЕЖ не є повністю автоматизованим. ВМП є магнітним компонентом з нелінійними властивостями. САПР для комп'ютерного мітаційного моделювання електричних кіл не призначені для розрахунку магнітних полів. Математичні моделі магнітного гістерезису [1-3], котрі використовуються в САПР для магнітних компонентів, відзначаються високою обчислювальною складністю[4-6].

Для вирішення проблеми інтеграції моделі компонента з магнітним гістерезисом в САПР перетворювачів електроенергії запропоновано нову модель силового ключа на основі ВМП, що ґрунтується на використанні функції, яку можна генерувати з допомогою цифрових технологій. Структуру моделі запропоновано представити у вигляді системи, що описується різницевим рівнянням другого порядку і в часовій області має наступний вигляд [7]:

$$b_2 g_{n-2} + b_1 g_{n-1} + g_n = y_n, \tag{1}$$

де $n \triangleq nT_d$, T_d – період дискретизації, n=0,1,2,3,…. , $b_2=-r^2$, $b_1=2r\cos(\omega T_d)$, g_{n-1}, g_{n-2} — початкові умови.

Для функції sin, коли $b_2=1$, $y_n=0$ система стає генератором синуса частотою $\omega/2\pi$. Цифровий генератор синуса, що складається з дискретних цифрових компонентів, який запропоновано використати для моделювання силового ключа на основі ВМП описано у [8]. Це – прототип структури запропонованої моделі. Хоча первинним призначенням такої структури є генерація синуса, тут пропонується застосувати її як цифрову

обчислювальну модель напруги та струму ВМП. При певних значеннях коефіцієнтів b_1 та b_2, вона може моделювати нелінійні властивості силового ключа на основі ВМП:

$$g_{n+1} > g_n : \begin{cases} H_n = \overline{H_{\min}, H_{\min} + 2H_c}, B_n = B_{\min}, \\ H_n = \overline{H_{\min} + 2H_c, H_{\max}}, B_n = k\sin(2\pi f n T_d + \varphi_1), \end{cases} \quad (2)$$

$$g_{n+1} < g_n : \begin{cases} H_n = \overline{H_{\max}, H_{\max} - 2H_c}, B_n = B_{\max}, \\ H_n = \overline{H_{\max} - 2H_c, H_{\min}}, B_n = k\sin(2\pi f n T_d + \varphi_2), \end{cases} \quad (3)$$

де $n = \overline{1, N}$ — індекс цифрових кодів електромагнітних змінних. H_{min}, H_{max} - відповідно мінімальне та максимальне значення напруженості магнітного поля. H_c - коерцитивна сила. B_{min}, B_{max} - відповідно мінімальне та максимальне значення магнітної індукції. З метою спрощення у цій моделі зроблено припущення, що магнітна індукція насичення $B_s = B_{max}$, тоді як в реальних фізичних системах B_{max} зазвичай дорівнює значенню магнітної індукції при H=5H_c [9].

Оскільки фільтр складається з цифрових компонентів, його можна легко змоделювати в середовищі будь-якої САПР перетворювачів електроенергії без потреби у додаткових інтеграціях. Більш того, цифрова природа моделі усуває труднощі з моделюванням високочастотних магнітних полів. Силові ключі на основі ВМП часто працюють з високими струмами (часто понад 10 А). Хоча жоден реальний цифровий компонент не функціонує при таких рівнях струму, параметри моделі цифрового фільтра в САПР легко масштабувати з метою відображення реальних значень модельованих величин.

Література

1. Татевосян А. С. Экспериментальное исследование и расчет магнитного поля электромагнита постоянного тока с расщепленными полюсами и полюсными наконечниками в комплексе программ ELCUT [Текст] / А. С. Татевосян, А. А. Татевосян, и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. - Т.327, №2. - С. 133-140.
2. Jiles D. C., Atherton D. L. Theory of Ferromagnetic Hysteresis. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1986, Vol. 61, pp. 48–60.
3. Petrescu L., Cazacu E., Petrescu C. Sigmoid functions used in magnetic hysteresis modeling. Proceedings of the 9th International symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE 2005), Bucharest, Romania, 7-9 May 2005, pp.521-524.
4. Poisson equation, solving with DFT. Available at: https://algowiki-project.org/en/Poisson_equation,_solving_with_DFT
5. Красносельский М. А. Системы с гистерезисом / М. А. Красносельский, А. В. Покровский. – Москва: Наука, 1983. – 272 с.
6. Bertotti G., Mayergoyz I. The Science of Hysteresis. Volume 1. Mathematical Modeling and Applications. Elsevier Inc., 2006, 751 p., ISBN: 0-1248-0874-3.
7. Яворський Б. І. Математичні основи радіоелектроніки. Частина І / Б. І. Яворський. – Тернопіль: ТПІ імені Івана Пулюя, 1996. – 184 с.
8. Авторское свидетельство СРСР № SU1092516A, МПК G06F 17/10, G06F 1/02. Цифровой генератор синуса [Текст] / Яворский Б. И., Гудз И. С. - №3372245; заявл. 28.12.1981 г.; опубл. 15.05.1984 г.
9. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электрические аппараты» [Текст] / Шопэн Л. В. - М.: Энергия, 1967. – 568 с.

Секція: ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ В РАДІОТЕХНІЦІ І ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Керівник: проф. Михайло Паламар

УДК 621.39

Антон Абрамович, Володимир Піддубний, доц.
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

МОДИФІКОВАНА РАМОЧНА АНТЕННА ВИХРОСТРУМОВОГО ПРИСТРОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛІВ

Для ідентифікації металів можна використовати як хімічні, оптоемісійні, рентгенівські методи та і вихрострумовий метод, активним елементом якого є антена. Питання побудови антени, моделювання її параметрів і розглядається у даній публікації.

Ключові слова: ідентифікація металів, антена, моделювання, низька частота.

Anton Abramovych, Volodymyr Piddubnyi

MODIFIED FRAME ANTENNA EDDY-CURRENT DEVICE FOR IDENTIFICATION OF METALS

For identification of metals can be used as chemical, optoelectric, X-ray methods and the eddy-current method, the active element of which is the antenna. The question of constructing an antenna, modeling its parameters and is considered in this publication.

Keywords: metal identification, antenna, simulation, low frequency.

В вихрострумових пристроях (ВСП) використовується антенна система, яка складається з двох рамочних антен (приймальної та передавальної), які працюють в діапазоні частот 5-10 кГц. Передавальна антена випромінює електромагнітне поле, яке при взаємодії із прихованим металевим [1] об'єктом створює відгук. Приймальна антена його реєструє та передає на блок обробки сигналу [2,3], що і дозволяє ідентифікувати прихований об'єкт.

Існує два основних типи антен – рамочні коаксіально розміщені антени та антени типу DD. Зовнішній вигляд антенного блоку, в якому випромінювання зондуючого та прийом відбитого від прихованого об'єкту сигналу [2,5] здійснюється за допомогою рамочних антен (котушок) круглої форми розміщених коаксіально та планарно одна відносно іншої показано на рис.1. Недоліком такої антенної системи є достатньо низька чутливість, нерівномірність чутливості по глибині зондування та значний паразитний зв'язок між приймальною та передавальною антенами. Зона чутливості такої системи має вигляд конуса направленого в бік об'єкту дослідження, який звужується біля вершини. Максимальна відстань, на якій можна виявити прихований метал, знаходиться в кінці конуса в центрі кола.

Антена зручна для роботи на засміченій території та в випадку проведення одночасного виявлення та дихотомічної ідентифікація металу (магнітний чи немагнітний). При роботі з такою антенною системою необхідно слідкувати, щоб кожен наступний прохід сканування частково перекривав попередній, а це збільшує кількість проходів при скануванні території заданної площі, зменшує швидкість переміщення, наприклад,сапера по замінованій території.

Антенна система типу DD (рис.2) використовує приймальну та передавальну антени, які виготовлені в вигляді котушок, що мають форму латинської букви «D».

Система складається з двох котушок «D» типу розміщених в дзеркальному відображенні. Витки приймальної та передавальної антен перетинаються в середній частині антенної системи створюючи активну зону випромінювання електромагнітних хвиль. Випромінювання антени розповсюджується в вигляді прямокутника. Завдяки цьому краще виявляються об'єкти малих розмірів, що лежать на достатньо великій відстані від антени. Крім того відпадає необхідність в жорсткому слідкуванні за тим, що б один прохід сканування перекривав інший.

Авторами були виготовлені такі антени приблизно однакових розмірів (діаметр антенної системи близько 150 мм). Приймальна та передавальна антени мають по 100 витків проводу діаметром 0,33 мм. Індуктивність антен – близько 4 мГн. Дослідження проводилися на круглих зразках діаметром 25 мм та товщиною 3 мм, виготовлених із міді та алюмінію. Проведені тестові дослідження таких антен, результати яких наведені в табл. 1.

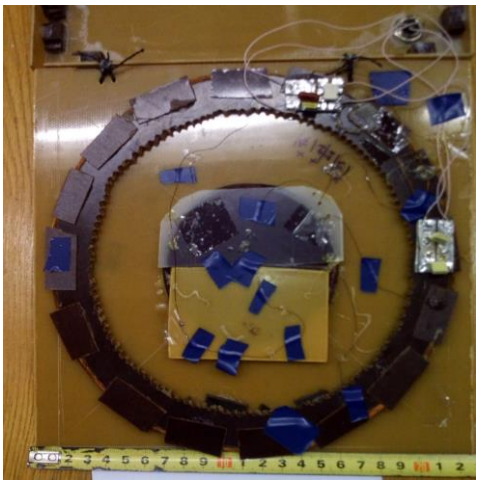


Рис. 1. Зовнішній вигляд антенної системи рамочної типу, що використовується в макеті ВСП

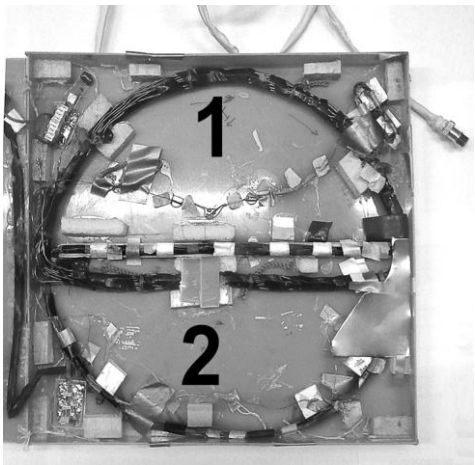


Рис. 2. Зовнішній макету DD антенної системи (1 – передавальна, 2 – приймальна антена)

Перше число – відстань від зразка до антенної системи, що характеризується стабільним виявленням при скануванні в обидві сторони. Друге число – нестабільний сигнал, виявлений при скануванні лише в один бік або через раз.

Таблиця 1

Тип антени	Зразок/Відстань мм	
	Мідь	алюміній
коаксіальна	200-310	170-280
DD	300-380	260-330

Як видно використання DD антени дозволяє майже в двічі збільшити відстань виявлення прихованого об'єкту [6], тобто збільшити чутливість приладу.

Сигнал на виході приймальної котушки DD антенної системи при скануванні мідного зразка показано на рис. 3.

Як бачимо, сигнал для DD антени (рис. 4) відрізняється від сигналу для коаксіальної антенної системи. Він схожий на сигнал знятий з одного плеча рамочної коаксіальної антени.

Обробка сигналу знятого з приймальної антени здійснювалася в електронному блоці радіотехнічної системи ідентифікації металів почергово програмами, що реалізують методи описані в [2] (спектральна обробка сигналу) та [5,7] (метод графічних образів). Слід сказати, що ця методика не дозволяє використовувати антенну систему типу DD для ідентифікації металу, тому що для її коректної роботи обов'язково потрібні два плеча антени. Антена типу DD може бути використана лише для виявлення металу без аналізу його складу.

Рис. 3. Сигнал, який знімається з антени

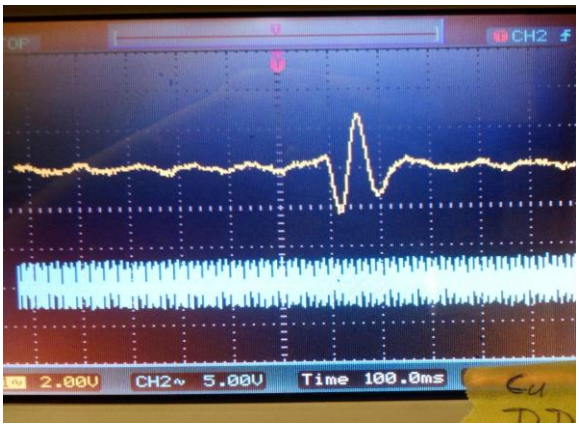


Рис. 4. Сигнал від мідного зразка, який знімається із антени DD

Тому пропонується модифікована антена, яка поєднує переваги антен як одного так і іншого типу. Схематичний вигляд запропонованої антени показано на рис. 5 [8].

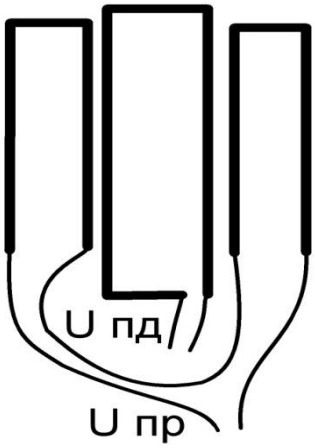


Рис. 5. Схематичне зображення запропонованої антени

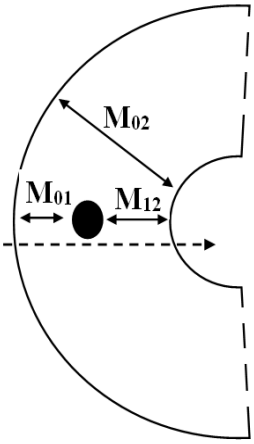


Рис. 6. Вплив металу на взаємозв'язок між антенами

Моделювання вихідного сигналу запропонованої антени проведено на основі моделі запропонованої в [9], де розглядається зміна потокозчеплення між витками та металом, що проноситься над ними, рис. 6.

На приймальну котушку наводиться напруга від передавальної $U^{(p)}$ та від зразка $U^{(s)}$ [9]

$$U_2^{(p)}(t) = -i\omega M_{02} I_0 e^{i\omega t};\ \ U_2^{(s)}(t) = -i\omega M_{12} I_1 e^{i\omega t}$$

$$I_1 e^{i\omega t} = -\frac{M_{01}}{L}\left[\frac{i\omega L(R - i\omega L)}{R^2 + \omega^2 L^2}\right] I_0 e^{i\omega t} \qquad \varphi(t) = arctg\left[\frac{Im(U_2^{(p)}(t) + U_2^{(s)}(t))}{Re(U_2^{(p)}(t) + U_2^{(s)}(t))}\right]$$

де M – взаємоіндукція, що визначається потокозчепленням між елементами системи, R –та L – опір та індуктивність, що вносяться досліджуваним зразком в антенну систему.

Для антени M_{02} це технічна константа, що визначається потокозчепленням між приймальною та передавальною котушками антенної системи, а M_{01} та M_{12} – це змінні величини, які залежать від властивостей зразка та його положенням відносно котушок антени. При пронесенні металевого досліджуваного зразка над котушками одна величина зростає, а інша зменшується.

В табл. 2 наведені значення розрахованих взаємоіндукцій та напруги на виході антени а форма сигналу антени при пронесенні мідного зразка над одним із плечей антени – на рис.10 [2,5].

Табл. 2. Значення величин M_{01} та M_{12} та напруги на приймальній антені

Координати	M_{01}	M_{12}	Напруга
0	-9,9523e-10	-1,0477e-10	-0.000
100	-9,9502e-10	-1,0498e-10	-0.052
150	-9,9492e-10	-1,0508e-10	0.480
200	-9,9481e-10	-1,0519e-10	-0.977

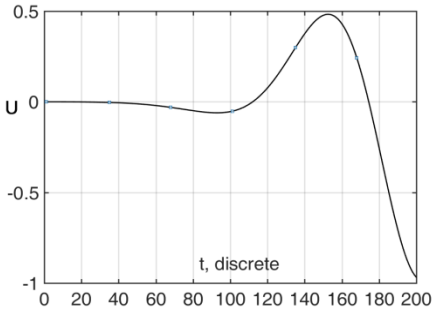


Рис. 7. Сигнал на виході антени

Змодельований сигнал на виході модифікованої антени (рис.10) подібний за формою до сигналу рамочної коаксіальної антени, що використовувалася раніше (рис. 2)), що дозволяє використовувати методику, запропоновану в [2] для ідентифікації типу металу.

Література

1. Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Series – Radio Engineering. Radio equipment construction., 2011, No. 46, pp. 186 – 193.
2. A. O. Abramovych, V. O. Poddubny "Application of spectral analysis for distinguishing metals by 1. A. O. Abramovych, S. M. Diachenko "Metal detectors", Bulletin of the National signals from eddy current converters", The East European Journal of Advanced Technology, Kharkiv,2017. Vol. 89 (No. 5), pp. 51 – 57 (Scopus) DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110177
3. Абрамович А.О. Радіолокаційно-вихрострумовий радар / А.О. Абрамович // Вісник НТТУ «КПІ» . Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – Вип. №57. – С. 77-82.
4. Jol M. H. Ground Penetrating Radar Theory and Applications / H. M. Joy // – Oxford GB.: Elsevier B.V. 2009. – 574с. – ISBN: 978-0-444-53348-7.
5. A. O. Abramovych, V. O. Poddubny, I. S. Kashirsky "Method of processing of reflected signals eddy-current pulse converters", Scientific Bulletin of Zaporizhzhya National Technical University, Radioelektronika, Informatics, Management, Zaporizhzhia, 2017. №4, pp.7 – 14. (Scopus) DOI: https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-4-1
6. Щербаков Г.Н. Увеличение предельной глубины обнаружения локальных ферромагнитных обьектов в толще проводящих укрывающих сред методом дистанционного параметрического подмагничивания / Г.Н. Щербаков // Радиотехника. – 2005. – № 12. – С. 42-45.
7. А. О. Абрамович, В. О. Піддубний, І. С. Каширський, Міжнародний науково-технічний журнал "Металофізика і новітні технології", 39, №. 8: 1035 (2017) DOI: https://doi.org/10.15407/mfint.
8. Diamanti, L., Annan, P., 2013. Characterizing the energy distribution around GPR antennas. J. Appl.Geophys., this issue.
9. Claudio Bruschini A Multidisciplinary Analysis of Frequency Domain Metal Detectors for Humanitarian Demining: Doctor in Applied Sciences Thesis: Claudio Bruschini. – Brussels, 2002 p. – 242p.

УДК 621.37

Микола Бугайов, к. т. н.
Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна

РЕКУРСИВНИЙ АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВАРІАЦІЇ

Запропоновано рекурсивний алгоритм обчислення коефіцієнта варіації, що дозволяє суттєво зменшити обчислювальну складність при багатократному розрахунку даного коефіцієнта. Сутність алгоритму полягає у використанні попередніх значень допоміжних величин, за допомогою яких обчислюють коефіцієнт варіації.

Ключові слова: статистичний показник, коефіцієнт варіації, обчислювальна складність.

Mykola Buhaiov

RECURRENT ALGORITHM OF CALCULATION VARIATION COEFFICIENT

Proposed a recurrent algorithm for calculating the coefficient of variation, which allows to significantly reduce the computational complexity with multiple calculation of this coefficient. The essence of the algorithm is to use the previous values of auxiliary quantities, by means of which the coefficient of variation is calculated.

Keywords: statistical index, coefficient of variation, computational complexity.

$$V_N = \frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i} = \frac{\sqrt{N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}}{\sum_{i=1}^{N} x_i}. \quad (1)$$

Введемо допоміжні величини:

$$\begin{aligned} A_N &= \sum_{i=1}^{N} x_i^2 = \sum_{i=1}^{N-k} x_i^2 + \sum_{i=N-k+1}^{N} x_i^2 = A_{N-k} + \sum_{i=N-k+1}^{N} x_i^2 \\ B_N &= \sum_{i=1}^{N} x_i = \sum_{i=1}^{N-k} x_i + \sum_{i=N-k+1}^{N} x_i = B_{N-k} + \sum_{i=N-k+1}^{N} x_i \end{aligned}. \quad (2)$$

Із виразу (2) очевидно, що

$$\begin{aligned} A_{N-k} &= A_{N-k+1} - x_{N-k+1}^2 \\ B_{N-k} &= B_{N-k+1} - x_{N-k+1} \end{aligned}. \quad (3)$$

При відкиданні k правих елементів вектора $\mathbf{x}$ вираз для обчислення нормованого до його довжини значення V_{N-k}^2 з урахуванням (2) та (3) набуде такого вигляду:

$$V_{N-k}^2 = \frac{A_N - \sum_{i=N-k+1}^{N} x_i^2}{\left(B_N - \sum_{i=N-k+1}^{N} x_i\right)^2} - \frac{1}{N-k} = \frac{A_{N-k+1} - x_{N-k+1}^2}{\left(B_{N-k+1} - x_{N-k+1}\right)^2} - \frac{1}{N-k}. \quad (4)$$

Оцінимо виграш в обчислювальній складності за рахунок застосування рекурсивного алгоритму розрахунку коефіцієнта варіації. У табл. 1 наведено кількість операцій додавання, множення та ділення для розрахунку нормованого значення

квадрата коефіцієнта варіації в залежності від кількості відкинутих елементів $k > 0$ вихідного вектора $\mathbf{x}$.

Табл.1. Обчислювальна складність алгоритмів розрахунку V_{N-k}^2

Математична операція	Кількість операцій	
	Звичайний алгоритм	Рекурсивний алгоритм
Додавання	$2(N-k)+3$	3
Множення	$N-k+1$	2
Ділення	2	2

Для розрахунку усіх значень V_{N-k}^2 при збільшенні значення k від 0 до $N-2$ значення необхідної кількості операцій наведені у табл. 2. Значення кількості операцій отримані з урахуванням того, що при $k=0$ значення V_N^2 не можна розрахувати за рекурсивним алгоритмом.

Табл. 2. Обчислювальна складність алгоритмів розрахунку V_{N-k}^2 для $k \in [0, N-2]$

Математична операція	Кількість операцій	
	Звичайний алгоритм	Рекурсивний алгоритм
Додавання	$(2N+1)(N-2)$	$5N-6$
Множення	$N(N-2)$	$3N-5$
Ділення	$2(N-2)$	$2(N-2)$

Література

1. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Радио и связь, 1989. 656 с.

2. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. Москва : Мир, 1990. 584 с.

3. Бугайов М. В. Ітеративний метод виявлення вузькосмугових сигналів на основі аналізу коефіцієнта варіації спектральних оцінок // XI науково-практична конференція "Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил". 8-9 листопада 2018 року. Київ : ВІТІ, 2018. С. 69−70.

УДК 622.2:614.83

Надія Бурау, д.т.н., проф., Карина Мішура
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ОБРОБКА СИГНАЛІВ СЕЙСМІЧНОГО ПРИЙМАЧА ПРИ ДИНАМІЧНИХ ЗБУРЕННЯХ МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ

Роботу присвячено розробці алгоритмічного та програмного забезпечення для аналізу сигналів сейсмічних приймачів, які можуть бути використані в системі визначення сейсмічної стійкості інженерних споруд та будівель. Проведено експериментальні дослідження сейсмічного приймача великих переміщень при ударному збуренні місця встановлення приймача. Для обробки сигналів використано вейвлет –розкладання з подальшим спектральним аналізом елементів розкладання.

Ключові слова: сейсмічний приймач, ударне збурення, вейвлет-розкладання, спектр.

Nadiia Bouraou, Karina Mishura

PROCESSING OF SEISMIC SENSOR SIGNALS AT DYNAMIC EXCITATION OF THE INSTALLATION LOCATION

The work is devoted to the development of algorithmic and software for the analysis of signals of seismic sensors, which can be used in the system for determining the seismic stability of engineering structures and buildings. Experimental investigations of seismic sensor of large displacements were carried out in case of shock excitation of the installation location of the sensor. The following signal processing methods are used: wavelet-decomposition and further spectral analysis of decomposition elements.

Keywords: seismic sensor, shock excitation, wavelet decomposition, spectrum.

Для безпечної експлуатації будівель та інженерних споруд різного призначення необхідно забезпечити їх стійкість при збудженнях природного чи техногенного походження. Одним з етапів визначення сейсмічної стійкості споруд є випробування з метою отримання інформації про коливання елементів конструкції споруди та прилеглих ділянок ґрунту під впливом згенерованого вібраційного збурення, яке імітує сейсмічне збурення при землетрусі. У якості сенсорів використовуються сейсмічні приймачі – прилади для перетворення параметрів механічних коливань (вібраційної швидкості чи вібраційного прискорення) в електричний сигнал. Застосування сейсмічних приймачів в діагностичних комплексах різноманітних інженерних споруд, в системах моніторингу сейсмічної активності висуває жорсткі вимоги до достовірності їх показань, особливо в умовах комплексного впливу динамічних збурень, обумовлених як природними, так і техногенними факторами.

Для дослідження використано сейсмічний приймач великих переміщень типу ВБП-3 [1], який призначений для перетворення лінійних переміщень при коливаннях об'єктів в електричний сигнал при потужних промислових вибухах або при землетрусах (до 6-9 балів). Крім того, прилад може використовуватись в системах моніторингу коливань машин і механізмів з частотою 1 – 100 Гц і амплітудою до 200 мм. Сейсмічний приймач було встановлено на розробленому вібраційному стенді, який є універсальним пристроєм для перевірки працездатності та інженерного дослідження сейсмічних приймачів з вертикальною та горизонтальною осями чутливості; канал опитування приймача реалізований з використанням модуля збору даних m-DAQ14, побудованого на основі універсального набору мікросхем для реалізації

вимірювальних каналів та систем для промислового і лабораторного використання [2]. Випробування проведено в режимі вертикальних коливань при ударному збуренні вібраційного стенду. Приклад реалізації сигналу сейсмічного приймача наведено на рис. 1, частота опитування $f_{оп}$=1000Гц, кількість точок n=30719, що відповідає часу опитування t=30,7 с.

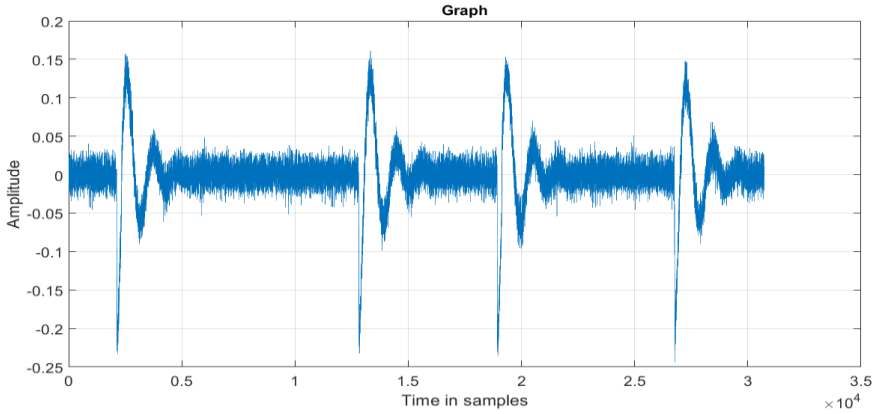


Рис. 1. Приклад реалізації сигналу сейсмічного приймача при ударному збуренні місця встановлення

Спектр сигналу, отриманий для усієї реалізації, наведений на рис. 2 і показує досить високу щільність спектральних амплітуд за частотою в інтервалі частот до 10 Гц. Власна частота приймача має значення 0,5 Гц [1], інтервал частот до 4 Гц можна вважати інтервалом суттєвих частот, поза межами якого спектральна щільність є характеристикою шуму.

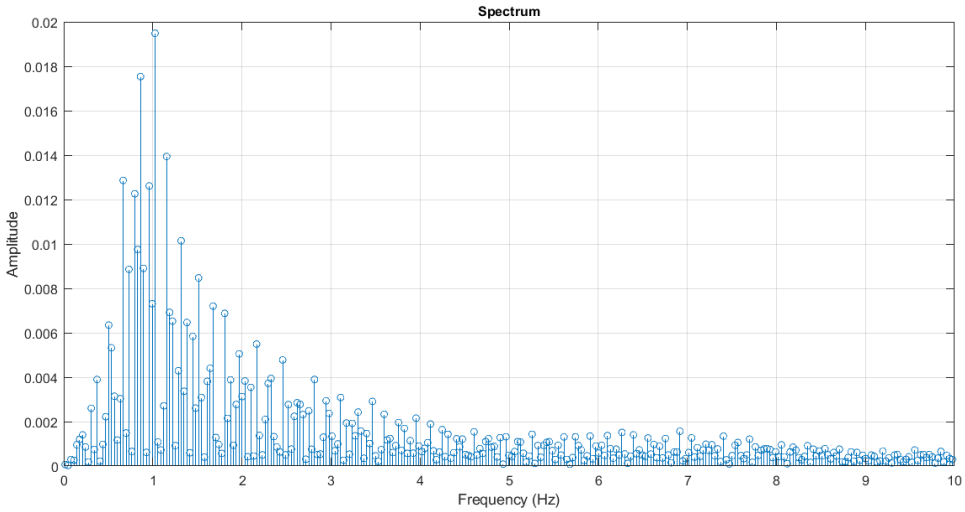


Рис. 2. Спектральна щільність сигналу сейсмічного приймача

Якщо необхідно більш детально аналізувати сигнал, або відмінності його спектральної щільності (або інших характеристик, наприклад, статистичних) в окремих частотних інтервалах, доцільно виконати обробку сигналів у два етапи [3]. На першому етапі пропонується виконати вейвлет-розкладання сигналу, який аналізується, в ієрархічний набір апроксимацій a_j, які характеризують повільні змінювання сигналу, та деталей d_j, що характеризують високочастотні складові сигналу. На другому етапі кожен з отриманих елементів розкладання a_j та d_j використовуються як окремий сигнал для подальшої спектральної (статистичної чи іншої) обробки. Як показано в [3], такий підхід суттєво підвищує чутливість деяких статистичних характеристик до малих змін виміряного сигналу, які визначаються для окремих елементів розкладання, порівняно з характеристиками, визначеними для повного сигналу. Такі два етапи обробки було

застосовано і сигналу сейсмічного приймача. Результати вейвлет-розкладання на 7 рівнів з використанням хвильової функції сімейства Добеші db2 наведено на рис.3, а отримані спектральні щільності відповідних елементів розкладання – на рис. 4.

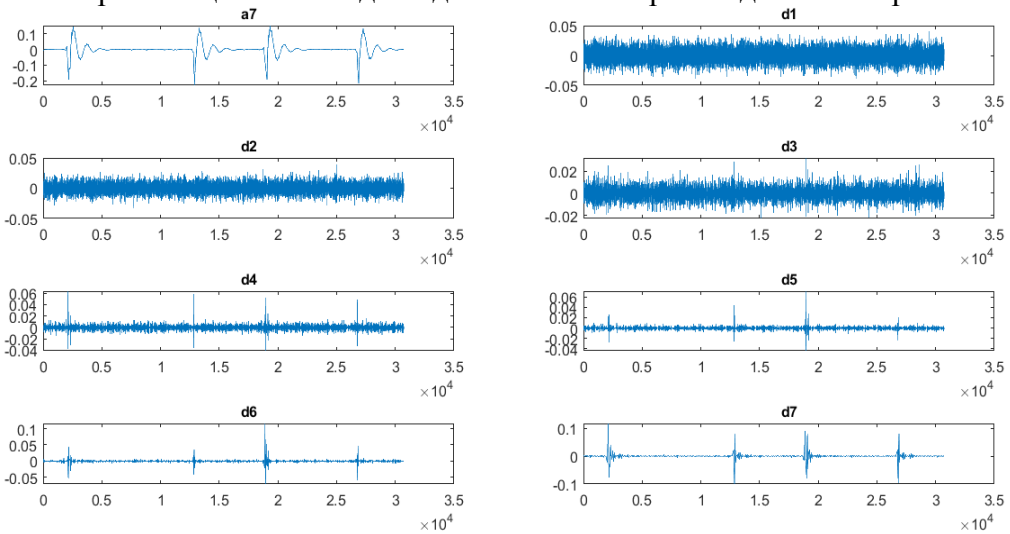


Рис. 3. Результати вейвлет-розкладання сигналу сейсмічного приймача

Для кожного елемента розкладання на рис. 3 за віссю абсцис відкладено час (у кількості точок), а за віссю ординат – значення амплітуди, як і для оригінального сигналу на рис. 1. Відповідно, на рис. 4 за віссю абсцис відкладено частоту в Гц, а за віссю ординат – значення спектральної щільності.

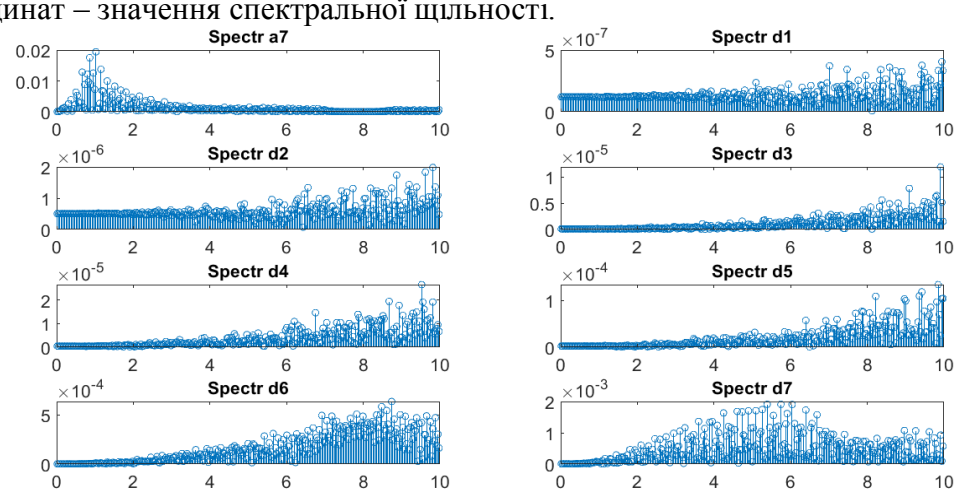


Рис. 4. Спектральна щільність елементів вейвлет-розкладання сигналу

Отримані результати дають можливість більш детально аналізувати, порівнювати та інтерпретувати сигнали сейсмічного приймача у його практичному застосуванні.

1. Безопасность сейсмического и воздушного воздействия массовых взрывов/ Кузовков Б.Н., Совмен В.К., Эквист Б.В., Вартанов В.Г. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – 180 с.

2. Мироненко П.С. Стенд для перевірки працездатності низькочастотних інерціальних модулів/ П.С. Мироненко, О.М. Павловський // Вісник КПІ. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – Вип. 56(2). – С. 5-10.

3. Методи цифрової обробки сигналів для вібраційної діагностики авіаційних двигунів: монографія / Н.І. Бурау, Л.Л. Яцко, О.М. Павловський, Ю.В. Сопілка. – К.: НАУ, 2012. – 152 с.

УДК 621.391

Ірина Дедів, к.т.н, Леонід Дедів, к.т.н., доц., С. Макар
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ГОЛОСОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИ

Розглянуто відомі методи ідентифікації особи за біометричними характеристиками. Обґрунтовано метод голосової ідентифікації, який є відносно простий та дешевий у реалізації та при застосуванні оптимальних методів опрацювання голосових сигналів може з достатньо високою достовірністю здійснювати ідентифікацію особи.

Ключові слова: біометрія, голосовий сигнал, спектрльний аналіз, автокореляційна функція.

Iryna Dediv, Leonid Dediv, S. Makar

THE REASONING OF THE METHOD OF VOICE IDENTIFICATION

There are considered well-known methods for identifying a person by biometric characteristics. The method of voice identification is substantiated, which is relatively simple and cheap in realization and when using the optimal method of processing of voice signals with sufficiently high reliability to conduct identification of a person.

Keywords: biometrics, voice signal, spectral analysis, autocorrelation function.

Актуальною технічною задачею в галузі телекомунікаційних систем, інтернет-технологій тощо, є забезпечення функцій контролю доступу, що полягають у формуванні дозволу або забороні доступу до певних визначених баз даних. Такий контроль ґрунтується на ідентифікації суб'єктів, яким потрібен доступ і об'єкта даних, що є метою доступу. В галузі інформаційної безпеки під ідентифікацією розуміється процедура розпізнавання користувача в системі шляхом сприйняття системою ідентифікаторів користувача, які формуються на основі апріорної інформації про нього. При цьому, особливо актуальним є обґрунтування вибору типів ідентифікаторів виходячи із технічної складності реалізації системи контролю доступу, економічної обґрунтованості та захищеності.

Особливо поширеним сьогодні є розроблення для задачі ідентифікації особи автоматизованих методів і засобів, що ґрунтуються на оцінюванні її фізіологічних або поведінкових характеристик – методів біометрії, що пояснюється їхньою винятковістю та низькою ймовірністю помилки ідентифікації. При цьому, всі методи біометричної ідентифікації можна розділити на статичну і динамічну. До першої групи належать методи ідентифікації за відбитком пальця, формою долоні, розташуванням вен на тильній стороні долоні, сітківкою ока, райдужною оболонкою ока, формою обличчя, термограмою особи тощо. Методи динамічної ідентифікації ґрунтуються на поведінковій (динамічній) характеристиці людини, зокрема ідентифікація проводиться за рукописним почерком, клавіатурним почерком, голосом, рухом губ тощо [1]. Із усіх зазначених методів біометричної ідентифікації найбільш перспективним при ймовірності відмови у доступі чи помилкової ідентифікації (0,5….5)% є метод голосової ідентифікації, якому властива простота технічної реалізації та низька собівартість порівняно з іншими методами отримання біометричних параметрів. Важливою при цьому є задача обґрунтування методу опрацювання голосових сигналів та виділення інформативних ознак, оцінки яких носили б індивідуальний характер та давали б можливість проведення ідентифікації особи.

Ідентифікація користувача може виконуватися за такими показниками: короткочасна енергія сигналу (визначається функцією короткочасної енергії з використанням вікон Хеммінга [3]; автокореляційна функція (дозволяє визначити

енергію і періодичні властивості сигналу); число переходів сигналу через нуль (оскільки високі частоти приводять до великого числа переходів через нуль, а низькі – до малого, то існує жорсткий зв'язок між числом нульових переходів і розподілом енергії по частотах [3]); спектр сигналу; коефіцієнти лінійного передбачення [4]; кепстральні коефіцієнти; кепстральні коефіцієнти, обчислені на основі лінійного передбачення. Однак, методам голосової ідентифікації, що ґрунтуються на оцінюванні таких показників, притаманні недоліки, пов'язані із низькою роздільною здатністю (що може призвести до помилкового дозволу доступу), чутливістю, затраченим на опрацювання часом.

Запропоновано за ідентифікатори особи використати оцінки амплітудних спектрів реєстрограм контрольних фраз. Частоти розміщення максимумів (формант) амплітудних спектрів відповідають формантним частотам. Значення формантних частот є індивідуальними характеристиками окремих звуків кожного окремого користувача.

В ході експериментальних досліджень проведено відбір голосових сигналів одної особи. Та обчислено оцінки їх амплітудних спектрів. Встановлено, що частоти розміщення формант в амплітудних спектрах окремих реалізацій голосового сигналу [л] практично співпадають, змінюється амплітуда формант, що пояснюється неоднаковістю умов реєстрації. Частоти розміщення формант для різних реалізацій голосового сигналу [а] також співпадають. Відповідно, оцінки формантних частот можуть вважатись індивідуальними характеристиками особи, за значеннями яких можна проводити ідентифікацію особи. Однак, значення формантних частот для окремих реалізацій голосових сигналів одного диктора дещо різняться між собою внаслідок наявності випадкової складової в структурі голосових сигналів. При цьому можливим є недопущення помилок при ідентифікації особи. Для підвищення достовірності ідентифікації запропоновано збільшити кількість індивідуальних ознак голосових сигналів, на основі яких буде прийматись рішення про ідентифікацію особи. Запропоновано поряд з оцінками формантних частот використати оцінки періоду основного тону.

Для оцінювання значення періоду основного тону використано автокореляційний метод. Однак відомо, що на точність обчислення періоду основного тону за автокореляційною функцією можуть впливати обертони, присутні в сиґналі, та гармоніки з вищою амплітудою. Для вирішення проблеми проведено обчислення оцінок розподілу спектральної густини потужності, частота розміщення першого максимуму відповідає частоті основного тону яка є оберненою до періоду основного тону.

Встановлено, що значення формантних частот та періоду основного тону є індивідуальними характеристиками особи (повторюються для різних реалізацій голосового сигналу) та різняться з цими ж оцінками таких же голосових сигналів але для іншої особи. Відповідно, оцінки формантних частот та періоду основного тону можуть бути використані для задачі ідентифікації особи.

Література

1. Дворянкин С. В. Речевая подпись / Под ред. заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н. проф. А. В. Петракова. – М.: РИО МТУСИ, 2003 – С. 183 – 184.
2. Біометричні технології в XXI столітті та їх використання правоохоронними органами: посібник / В. П. Захаров, В. І. Рудешко; Львів. держ. ун-т внутр. справ. — 2-ге вид., допов. - Львів: ЛьвДУВС, 2015. - 491 с.
3. Рабинер Л. Р., Шафер Р. В. Цифровая обработка речевых сигналов: Пер. с англ./Под ред. М. В. Назарова, Ю. Н. Прохорова. – М.: Радио и связь, 1981. - 495 с.
4. Диденко С. М. Автореферат дисертации: «Разработка и исследование компьютерной модели динамики системы «пользователь-мышь»». Тюмень, 2007. - 25 с.

УДК 621.326

Ігор Зелінський, к.ф.-м.н., доц., Михайло Паламар, д.т.н., проф., Мирослава Яворська, к.т.н., доц.
Тернопільсьський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МЕТОД ОПТИЧНОЇ ТРІАНГУЛЯЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ФОРМИ ДЗЕРКАЛА АНТЕНИ

Аналізуються метрологічні можливості модифікованого методу оптичної тріангуляції (метод трикутника) для дослідження форми поверхні дзеркала антени.

Ключові слова: оптична тріангуляція, лазер, оптичний прилад, дзеркальна антена.

Igor Zelinskyi , Mykhaylo Palamar, Myroslava Yavorska

OPTICAL TRIANGULATION METHOD FOR CONTROLLING THE SHAPE OF THE ANTENNA MIRROR

The possibilities of the modified method of optical triangulation (triangle method) for studying the shape of the antenna mirror are analyzed.

Keywords: optical triangulation, laser, optical device, mirror antenna.

Електричні характеристики дзеркальних антен визначаються в значній мірі відповідністю форми поверхні дзеркала до теоретично розрахованої. Так, при створенні великих антен космічного радіозв'язку (діаметр дзеркала антен 3 – 20 метрів) допустимі відхилення поверхні дзеркала від теоретичної обмежені рівнем ~ ±0.3 мм [1].

Сучасні методи контролю дзеркала антен діляться на контактні та безконтактні. Контактні методи ґрунтуються на використанні механічних шаблонів та мікрометричних вимірювальних засобів . Їх основними недоліками являються низькі точність та швидкодія, що обмежує їх практичне використання.

Безконтактні оптичні методи контролю поверхні позбавлені цих недоліків, однак, потребують дорогої апаратури та високоточних механічних вузлів. Тому, розробка вимірювальних пристроїв, які поєднують в собі переваги дистанційного принципу вимірювання та невисоку собівартість лишається актуальною .

Для проведення вимірювань форми дзеркала антени пропонується метод оптичної тріангуляції із змінною вимірювальною базою. За основу береться відомий метод оптичної тріангуляції (метод трикутника) [2] із постійною вимірювальною базою, рис.1 а).

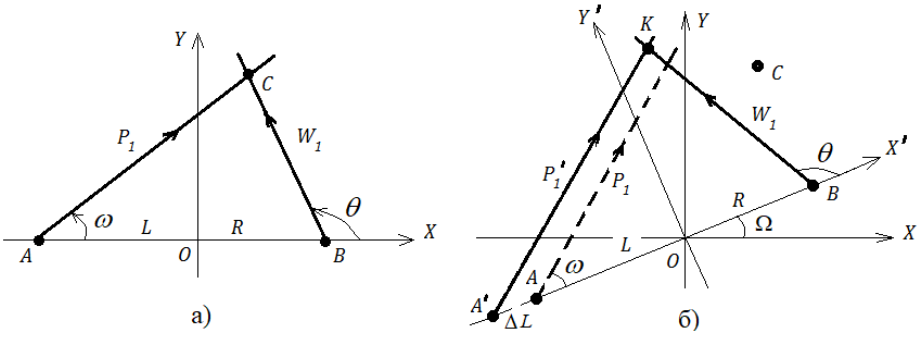


Рис. 1. Схеми вимірювань координат поверхні в методі оптичної тріангуляції (а) та в методі оптичної тріангуляції із змінною вимірювальною базою (б).

Згідно даного методу, для координатних вимірювань поверхні створюють два вузьких світлових пучки P_1, W_1 , що виходять під кутами ω, θ із кінців деякої вимірювальної бази $AB = R + L$ і перетинаються в контрольованій точці поверхні дзеркала , наприклад, в точці C .

Для аналізу методу користуємось його двомірним варіантом, коли точки *A, B,*

C лежать в одній площині *XOY.*

Нескладно довести, що координатам точки С відповідають наступні вирази:

$$x = \frac{R + L \cdot tg\omega \cdot ctg\theta}{1 - tg\omega \cdot ctg\theta} \quad , \qquad (1)$$

$$y = \frac{R + L}{ctg\omega - ctg\theta} \quad . \qquad (2)$$

Як результат похибок вимірювання кутів ω, θ виникають похибки обрахування координат - $\Delta x, \Delta y$. Для їх оцінки використовують відповідні диференціали . У такому разі, граничні значення похибок Δx, Δy задовольняють нерівностям:

$$|\Delta x| \le \left|\frac{\partial x}{\partial \omega}\right| \cdot \Delta\omega + \left|\frac{\partial x}{\partial \theta}\right| \cdot \Delta\theta \ , \qquad (3)$$

$$|\Delta y| \le \left|\frac{\partial y}{\partial \omega}\right| \cdot \Delta\omega + \left|\frac{\partial y}{\partial \theta}\right| \cdot \Delta\theta , \qquad (4)$$

де $\Delta\omega, \Delta\theta$ - гранично допустимі похибки експериментального обладнання у визначенні кутів ω, θ.

Оцінимо гранично допустимі похибки вимірювань кутів ω, θ для певної геометрії експерименту. Нехай R = 300 мм , L = 700 мм, θ= 90°, ω=70°. Якщо допустимі похибки визначення координат Δx, Δy складають ~ ± 0.3 мм, то користуючись виразами (1-4) та враховуючи, що $\Delta\omega \approx \Delta\theta$ отримуємо, що похибки $\Delta\omega$, $\Delta\theta$ не повинні перевершувати 1,1´´. У разі зменшення вимог до точності вимірювань координат до величини ~ ±0.5 мм , похибки визначення кутів ω, θ не повинні перевищувати 1,8´´. Таким чином, аналіз метода оптичної тріангуляції з постійною вимірювальною базою показує , що контроль точності форми дзеркала антени вимагає застосування високоточного та очевидно дорогого за собівартістю обладнання .

В доповіді аналізується варіант методу оптичної тріангуляції у якого значення кутів ω, θ залишаються постійними на протязі координатних вимірювань, а перетин пучків P_1 та W_1 в контрольованих точках, наприклад, в точці К, рис. 1 б), досягають шляхом повороту вимірювальної бази AB на кут Ω та зміни вимірювальної бази на величину ΔL.

У даному разі координати точок поверхні в системі координат XOY будуть визначатись згідно виразів:

$$x = \frac{R + (L \pm \Delta L) \cdot tg\omega \cdot ctg\theta}{1 - tg\omega \cdot ctg\theta} \cdot \cos\Omega - \frac{R + L \pm \Delta L}{ctg\omega - ctg\theta} \cdot \sin\Omega \ , \qquad (5)$$

$$y = \frac{R + (L \pm \Delta L) \cdot tg\omega \cdot ctg\theta}{1 - tg\omega \cdot ctg\theta} \cdot \sin\Omega + \frac{R + L \pm \Delta L}{ctg\omega - ctg\theta} \cdot \cos\Omega \quad . \qquad (6)$$

Граничні похибки Δx, Δy в обрахунках координат *x, y*, як результат похибок вимірювань величин L, Ω , задовольняють нерівностям:

$$|\Delta x| \le \left|\frac{\partial x}{\partial L}\right| \cdot \Delta L + \left|\frac{\partial x}{\partial \Omega}\right| \cdot \Delta\Omega \quad , \qquad (7)$$

$$|\Delta y| \le \left|\frac{\partial y}{\partial L}\right| \cdot \Delta L + \left|\frac{\partial y}{\partial \Omega}\right| \cdot \Delta\Omega \quad . \qquad (8)$$

Користуючись виразами (5 – 8), та беручи до уваги геометрію експерименту, аналогічну до попереднього випадку, отримуємо вимоги щодо точності визначення довжини бази вимірювання $R + L \pm \Delta L$ та кута повороту Ω. Якщо допустимі помилки обрахування координат точок складають ±0.3 мм, то гранично допустимі помилки визначення довжини бази вимірювань складають ~ 0.1 мм, а для кута Ω повороту ~ 5´´. У разі допустимої помилки визначення координат ~ ±0.5 мм, вимоги до похибок визначення довжини бази зменшуються і складають ~ 0.2 мм, а вимоги до кута повороту ~ 7´´.

Таким чином, аналіз та кількісні оцінки обох варіантів методу показують, що метод оптичної тріангуляції із змінною базою вимірювань у декілька разів знижує вимоги до точності кутових вимірювань порівняно із методом з постійною вимірювальною базою. Також зменшується і кількість кутових вимірювань за рахунок вимірювань зміни довжини бази, а контроль довжини з точністю ~ (0,1 – 0,2) мм технічно нескладний.

На основі розробленого методу спроектовано макет оптичного пристрою та проведено експериментальне дослідження поверхонь різної форми . Зовнішній вигляд оптичного пристрою показано на рис.2.

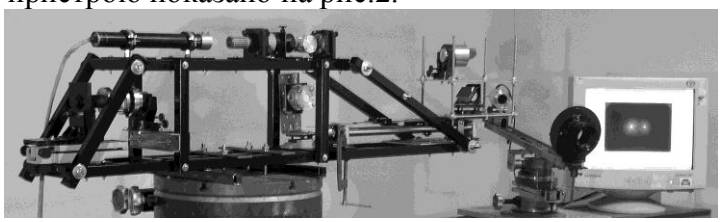
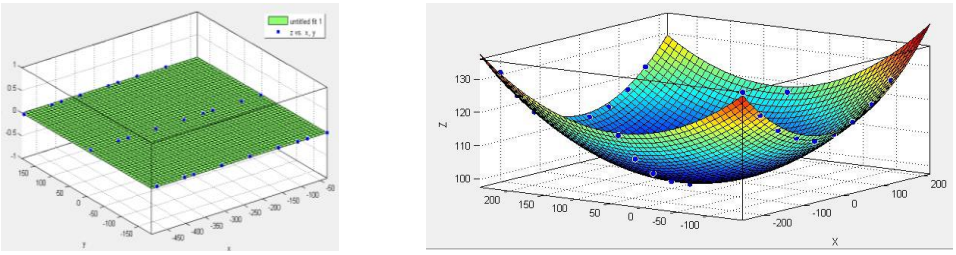


Рис. 2. Зовнішній вигляд діючого макету оптичного пристрою.

На рис.3 а,б) наведено картини плоскої та параболічної поверхні, отримані як



а) б)

Рис. 3. Графіки z = f (x,y) для плоскої (а) та параболічної (б) поверхонь

Результат апроксимації множини експериментально визначених координат точок для обох поверхонь. Відхилення поверхонь від теоретично заданих складає величину ~ ±0,5 мм.

Література

1. Поляк В.С. Прецизионные конструкции зеркальных радиотелескопов: Опыт создания, проблемы анализа и синтеза / В.С. Поляк, Є.Я. Бервалдс. - Рига: Зинатне, 1990. - 526 с.

2. Palamar M., Zelinsky I., Yavorska M. The device for remote measuremrnts of parameters of antenna reflectors. Вимірювальна техніка та метрологія, №76, 2015.

УДК 314.625

Володимир Лесів, Анатолій Марценюк
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Запропоновано метод комплексної обробки даних в задачі підвищення точності визначення кутових координат в радіолокаційних системах. Метод включає в себе попередній розрахунок пеленгу з застосуванням модельних гаусових діаграм спрямованості передаючої та приймаючої антен і кореляційну схему обробки сигналів.

Ключові слова: кутові координати, пеленгаційна характеристика, спектр сигналу.

Volodymyr Lesiv, Anatoliji Marcenjuk

METHOD FOR IMPROVING THE ACCURACY OF DETERMINING THE ANGULAR COORDINATES OF RADAR SYSTEMS

The algorithm of complex data processing in the problem of increasing the accuracy of determination of angular coordinates in radar systems is proposed. The algorithm includes a preliminary calculation of the bearing with the use of model Gaussian direction diagrams of the transmitting and receiving antennas and the correlation scheme of signal processing.

Keywords: angular coordinates, direction finding characteristic, spectrum of the signal.

Багато задач радіолокації, радіонавігації, зв'язку вимагають підвищеної точності оцінки амплітуд, яка не може бути досягнута традиційними методами. Основний вплив на величину похибки пеленгації створюють наявність бічних пелюсток діаграм спрямованості (ДС) антен і помилки визначення амплітуд сигналів, обумовлені наявністю шумів в отриманих даних. Точність оцінки координат джерела випромінювання, характерна для традиційних методів, може бути підвищена шляхом проведення попереднього аналізу діаграм спрямованості антенної системи та врахування специфіки амплітудної моноімпульсної пеленгації при визначенні амплітуд прийнятих сигналів.

$$F(A_1, A_2) = \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2}, \tag{1}$$

де A_1, A_2 – зазвичай мають сенс амплітуд прийнятих сигналів.

Визначення кутових координат джерела випромінювання амплітудним моноімпульсним методом включає в себе два послідовних етапи: оцінку амплітуд сигналів A_i, прийнятих різними каналами антенної системи, і визначення координат джерела випромінювання (x, y) на основі розв'язання системи нелінійних рівнянь:

$$\begin{cases} F\big(f_1(x,y), f_2(x,y)\big) = F(A_1, A_2) \\ F\big(f_1(x,y), f_3(x,y)\big) = F(A_1, A_3) \end{cases}, \tag{2}$$

де f_i – діаграма спрямованості антени.

При цьому передбачається наявність єдиного джерела в зоні прийому антенної системи, і розрахунок пеленгу проводиться не менше ніж по трьох каналах антенної

системи. У загальному випадку задача розв'язання системи рівнянь (2) зводиться до оптимізації деякого функціоналу середньоквадратичної неузгодженості.

Визначальний вплив на точність розв'язання системи (2) роблять наступні фактори. По-перше, не монотонність функціоналу пеленгаційної характеристики внаслідок наявності бічних пелюсток ДС веде до появи великої кількості помилкових пеленгів, які можуть бути прийняті за напрямок на джерело випромінювання. По-друге, наявність шумів різних рівнів і природи призводить до зміщення розв'язання системи (2).

Кореляційний моноімпульсний метод визначення кутових координат

Зменшення впливу бічних пелюсток ДС антен може бути вироблено на основі попереднього аналізу потужності прийнятих сигналів багатоканальної антеною системою і виключенням з обробки каналів, потужність сигналу в яких нижче рівня бічних пелюсток. Для вирішення системи рівнянь пеленгації (2) антенна система повинна містити не менше трьох прийомних антен. При наявності більшої кількості прийомних каналів є можливість відмови від роботи з каналами з низьким рівнем сигналу. У даних умовах визначення пеленга може бути розділене на два етапи.

На першому етапі відбувається перехід від ДС реальних антен до ідеальної моделі шляхом апроксимації головної пелюстки ДС. Для апроксимації зручно використовувати функцію Гауса, оскільки при цьому в рамках зазначеної моделі система (2) зводиться до системи лінійних рівнянь. Для підвищення стійкості розв'язку такої системи (x_0, y_0) може бути знайдено шляхом заміни оберненої матриці псевдооберненою матрицею Мура-Пенроуза, що відповідає розв'язку мінімуму норми [4]. На другому етапі поблизу знайденого початкового наближення проводиться розв'язання системи (2) з використанням ДС реальних антен (рис. 1).

Традиційний метод оцінки амплітуд зводиться до розрахунку потужності прийнятого сигналу в кожному каналі антенної системи [5], при цьому не враховується вплив адитивних шумів на точність оцінки амплітуди. Для збільшення точності вимірювань необхідно оптимізувати метод визначення амплітуди сигналів, прийнятих різними каналами антенної системи. Для збільшення співвідношення сигнал/шум (ССШ) в прийнятих сигналах пропонується перехід від обробки безпосередньо сигналів до обробки їх взаємної кореляційної функції, що можна розглядати як реалізацію методу максимальної правдоподібності [6]:

$$s_1^{/}(\tau) = \int s_1(t) s_2(t+\tau) dt \qquad (3)$$

де $s_1(t)$, $s_2(t)$ – сигнали, прийняті 1-ою і 2-ою антенами.

Перехід від сигналів $s_1(t)$, $s_2(t)$ до кореляційного сигналу $s_1^{/}(\tau)$ може бути представлений як перехід від реальних ДН антен $f_1(x,y), f_2(x,y)$ до системи "уявних" антен, ДС $f_1^{/}(x,y)$ яких задаються добутком ДС вихідних антен.

Структурна схема запропонованої моделі представлена на рис. 2. В рамках цієї моделі здійснюється перехід до антеною системі, в якій кутові координати джерела випромінювання не змінюються, сигнал $s^{/}(\tau)$, що приймається системою уявних антен, визначається автокореляційною функцією вихідного сигналу $\mathrm{s}(t)$, а ДС уявних антен задаються взаємними добутками ДС вихідних антен.

Розрахунок амплітуд сигналів в каналах уявної антенної системи може проводитися на основі традиційного методу, з використанням енергії сигналу. Як було сказано вище, традиційний метод оцінки амплітуд не враховує вплив адитивних шумів.

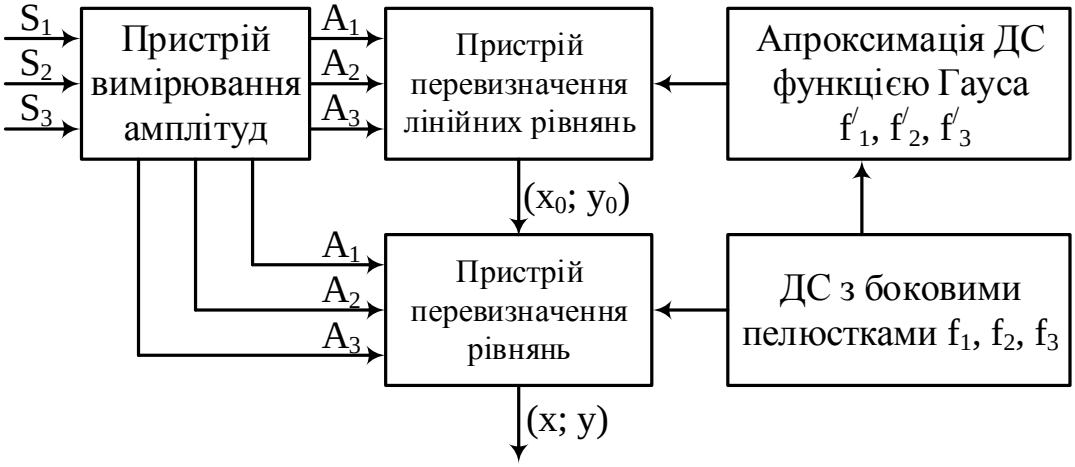


Рис. 1. Схема комплексного методу амплітудної моноімпульсної пеленгації

Врахування специфіки моноімпульсного методу (синфазність прийому сигналу різними каналами) дозволяє підвищити точність розрахунку амплітуд уявних сигналів.

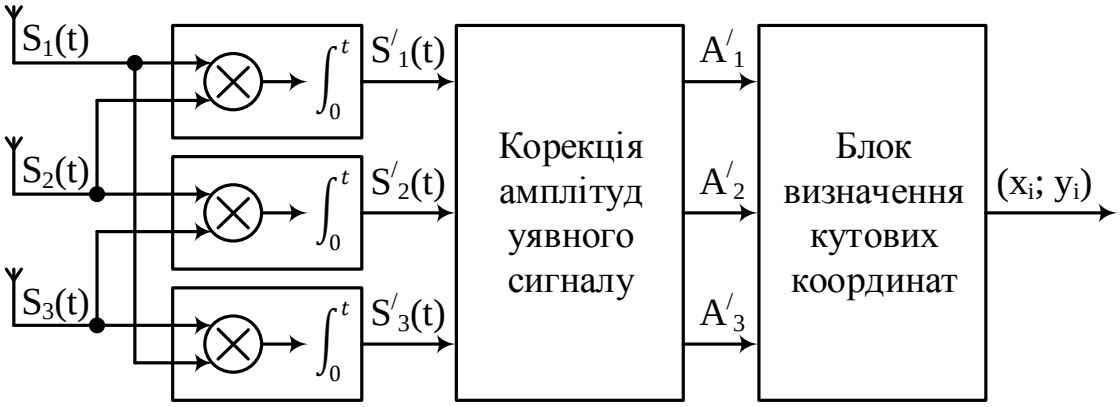


Рис. 2. Структурна схема блоку оцінки амплітуд

Метод оцінки амплітуд сигналів

Для сигналів з низьким ССШ вплив адитивного шуму на точність визначення амплітуд прийнятих сигналів може бути зменшено на основі виключення шумовий складової з енергії прийнятого сигналу в кожному каналі приймальні системи. Попередня оцінка рівня шуму в даній антені і виключення його енергії $E_{\text{Кор.}}$ із загальної енергії прийнятого сигналу дозволяють в припущенні некорельованих шумів отримати оцінку корисної складової прийнятого сигналу.

Припустимо наявність на приймальній стороні еталонного сигналу $s_{\text{Етал.}}(t) = A_{\text{Етал.}}s(t)$, що містить тільки корисний сигнал $s(t)$, прийнятий синфазно з сигналами в кожній з приймальних антен. Різниця сигналу на виході і -й антени і еталонного сигналу має наступний вигляд:

$$\Delta s_i(t) = s_i(t) - \alpha s_{\text{Етал.}}(t) = (A_i - \alpha A_{\text{Етал.}})s(t) + A_{ni}n(t) \quad (4)$$

Варіацією коефіцієнта досягається придушення доданка, що містить корисну складову сигналу $s(t)$. Для некорельованої шумової складової з нульовим середнім

завдання визначення зводиться до одновимірної оптимізації функціоналу енергії різницевого сигналу:

$$\Delta s_i(t) = s_i(t) - \alpha s_{\text{Етал.}}(t) = (A_i - \alpha A_{\text{Етал.}})s(t) + A_{ni}n(t) \quad (5)$$

Варіацією коефіцієнта досягається придушення доданку, що містить корисну складову сигналу $s(t)$. Для некорельованої шумовий складової з нульовим середнім завдання визначення α зводиться до одновимірної оптимізації функціоналу енергії різницевого сигналу:

$$F = \int \Delta s_i^2(t)dt = (A_i - \alpha A_{\text{Етал.}})^2 \int s^2(t)dt + A_{ni}^2 \int n^2(t)dt \to min \quad (6)$$

При такому підході мінімум функціоналу F відповідає оцінці енергії шуму в i-й приймальній антені, яку необхідно знайти.

Для застосування даного підходу особливу увагу необхідно приділити питанню вибору еталонного сигналу $s_{\text{Етал.}}(t)$. Для завдання амплітудної моноімпульсної пеленгації характерна ситуація, коли корисний сигнал потрапляє в центральну частину однієї з приймаючих антен. ССШ в прийнятих даних на виході такої антени має максимальне значення. Вибір антени з еталонним сигналом може бути здійснений за умовою максимуму енергії прийнятого сигналу.

Висновки

У роботі представлено метод амплітудної моноімпульсної пеленгації із застосуванням попередньої обробки на основі модельних ідеальних ДС приймаючих антен. Запропоновано схему оптимізації методу розрахунку амплітуд прийнятих сигналів на основі кореляційної обробки сигналів і попередньої оцінки рівня шуму в каналах антенної системи. Описаний підхід застосований в рамках пеленгації ФМ2-сигналів на фоні адитивного шуму. Показано підвищення точності визначення кутових координат джерела радіовипромінювання запропонованим в роботі методом в порівнянні з традиційним алгоритмом.

Література.

1. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации ВИРТА ПВО, 1984. – 408 с.
2. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. М.: Радио и связь, 1984. 312 с.
3. Марчук В.И.(ред.) Методы цифровой обработки сигналов для решения прикладных задач М.: Радиотехника, 2012. – 128 с.
4. Радиотехнические системы Ю.И. Казаринов, Ю.М. Коломенский, В.М. Кутузов, В.В. Леонтьев, А.С. Маргун, В.К. Орлов, Б.П. Подкопаев, Ю.Д. Ульяницкий. — М.: Академия, 2008. — 592 с.

УДК 004.71

О. Мишковець, старший викладач, А. Буда
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ БАГАТОЧАСТОТНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

У даній роботі розглянуто багаточастотні сигнали в радіолокації та основні принципи їх вимірювання та виявлення.

Ключові слова: багаточастотні радіолокаційні сигнали, радіолокація, радіолокаційна станція, багаточастотная радіолокація.

O. Myshkovets, A.Buda

IDENTIFICATION AND MEASUREMENT OF MULTIFREQUENCY RADAR SIGNALS

In this paper, multifrequency signals in radar and the main principles of their measurement and detection are considered.

Keywords: multi-frequency radar signals, radar, radar, multi-frequency radar.

В даний час в радіолокаційних, навігаційних і метеорологічних радіотехнічних системах виявлення і вимірювання параметрів відбитого сигналу, а також поліпшення характеристик радіолокаційних станцій (РЛС) є традиційним і в той же час актуальним завданням, що стоїть при розробці сучасних РЛС. Велике значення даної проблеми пов'язано з ростом вимог, висунутих до таких РЛС, та збільшенням кількості завдань які можна одночасно виконувати в різних режимах роботи. При цьому до таких багатофункціональних РЛС можуть пред'являтися суперечливі вимоги, які важко виконати в рамках звичайних одноканальних систем. Рішенням даного питання є перехід до багатоканальних систем, одними з яких є багаточастотні РЛС. [1]

Випромінювання багаточастотного сигналу в РЛС можна здійснювати двома способами. Перший це частотно-багатоканальні станції, в яких основні показники визначені сукупністю дії всіх частотних каналів. У таких РЛС випромінювання на декількох частотах здійснюється в межах однієї і тієї ж діаграми направленості. У другому випадку кожна складова багаточастотного сигналу випромінюється в межах самостійної діаграми направленості, яка зміщена в просторі одна відносно одної. Такі частотно-багатопроменеві РЛС, як правило, використовуються для створення діаграм направленості складної форми і не є багатоканальними. [2]

В частотно-багатоканальних РЛС є декілька передавачів, які працюють на різних несучих частотах f_1, f_2, . . ., f_L (рис. 1), та запускаються спільним синхронізуючим пристроєм. Високочастотні коливання після хвильового суматора підводяться до опромінювача дзеркальної антени і випромінюються в межах однієї діаграми направленості. Прийняті сигнали окремо обробляються в n приймачах з подальшим сумуванням результатів обробки.

Таким чином, багаточастотний сигнал, що випромінюється в межах однієї діаграми направленості, може бути сформований на основі швидкої зміни несучої частоти РЛС, або шляхом одночасного випромінювання сигналів з різними несучими частотами. Вибір способу формування багаточастотного сигналу, а також характер флуктуацій відбитих від об'єкта сигналів, розподіл потужності між частотними каналами, кількість несучих частот, інтервали між каналами і спосіб обробки відбитих сигналів є основними факторами, що визначають рівень покращення характеристик РЛС.

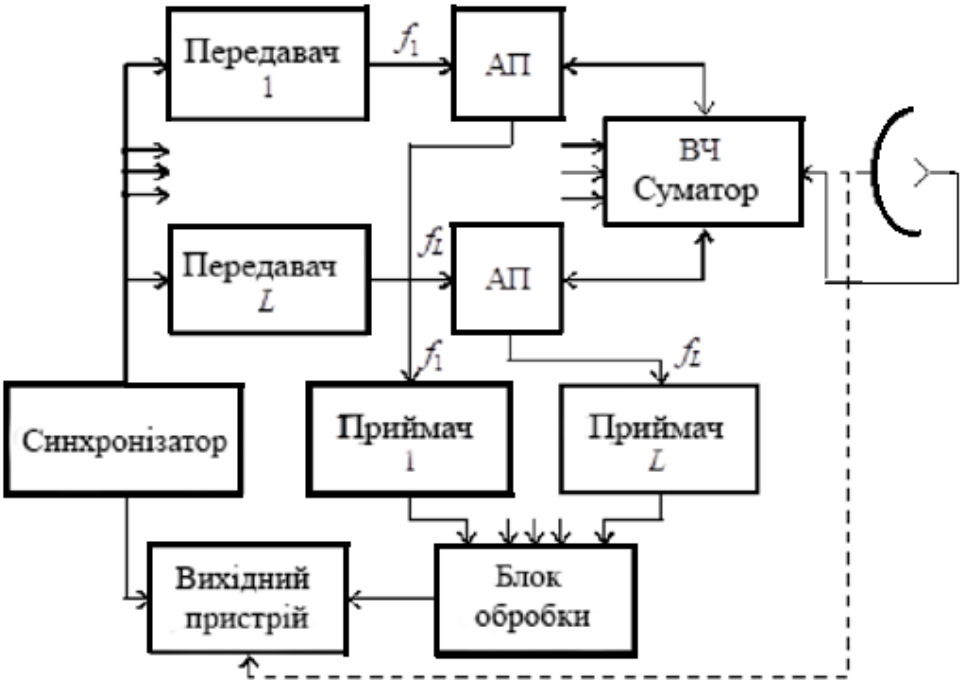


Рис. 1. Структурна схема частотно-багатоканальної РЛС.

Одночасне випромінювання сигналів з різними несучими частотами може бути забезпечено при використанні в передавальному пристрої багаточастотного автогенератора.

Розрізняють три основних типи багаточастотних автогенераторів:

- з використанням гармонік основної частоти;
- з довільним співвідношенням власних частот контурів;
- із зворотним зв'язком з затримкою.

Крім цього, можливі багаточастотні автогенератори, що представляють собою різні комбінації зазначених вище основних типів. Особливий інтерес, з точки зору використання багаточастотних сигналів в радіолокації, представляє третій тип багаточастотних автогенераторів - з зворотним зв'язком із затримкою, що генерує коливання зі спектром частот навколо основної частоти. У дециметровому і сантиметровому діапазонах хвиль такі багаточастотні автогенератори можуть бути створені на лампах біжучої хвилі, або зворотньої хвилі з внутрішнім (через уповільнюючу систему), або зовнішнім зворотнім зв'язком. Ще одним із способів одночасного формування сигналів з різними несучими частотами може бути синтез частот. У багаточастотних передавальних пристроях застосовується пасивний метод генерування частот, заснований на використанні тільки генераторів гармонік, змішувачів і фільтрів [1]

Для підвищення точності вимірювання можна використовувати вимірювач, що здійснює одноканальне когерентне оброблення відбитих сигналів [4]. Структурна схема такого вимірювача когерентно-імпульсних сигналів зображена на рис 2. Одноканальне когерентне накопичення вхідних відліків здійснюється на основі блоку затримки за період повторення Т, блоку комплексного спряження БС, комплексного помножувача КП та міжперіодного накопичувача Н. Крім того схема містить обчислювач фази ОФ, обчислювального модуля ОМ і пороговий блок ПБ.

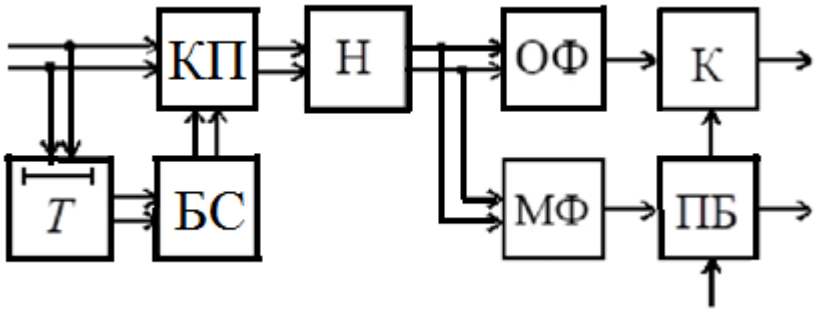


Рис. 2. Структурна схема вимірювача когерентно-імпульсних сигналів

Основними перевагами запропонованої системи для виявлення та вимірювання багаточастоних сигналів, є:

- можливість виявлення об'єкта за результатами спільної обробки відбитих сигналів, що відповідають різним несучим частотам;
- одноканальне когерентне накопичення, що дозволяє істотно спростити технічну реалізацію побудови системи виявлення, в порівнянні з традиційними багатоканальними системами, і відкриває можливість вимірювання радіальної швидкості об'єкта (цілі);
- можливість однозначного визначення радіальної швидкості об'єкта за результатами спільної обробки бази даних обчислень частотних каналів в багаточастотних когерентно-імпульсних РЛС одночасного випромінювання, які працюють в режимі високої шпаруватості.

Висновок. Проведено аналіз існуючих систем виявлення та вимірювання багаточастотних радіолокаційних сигналів.

Найбільший ефект від багаточастотної радіолокації досягається при статистично незалежних сигналах, які відповідають різним несучим частотам. Фізично це пояснюється тим, що в даному випадку відповідні їм максимуми діаграм вторинного випромінювання, від об'єкта, зміщені один відносно одного. Це призводить до зменшення порізаності сумарної (еквівалентної) діаграми вторинного випромінювання і відносної величини флуктуацій відбитого сигналу, завдяки чому підвищуються дальність дії РЛС і надійність виявлення об'єкту. Необхідною (але не достатньою) умовою статистичної незалежності відбитих сигналів є ортогональність відповідних складових зондуючого сигналу

Література

1. Вишин Г. М. Многочастотная радиолокация. М.: Воениздат, 1973. 92 с.
2. Григорин-Рябов В. В. Радиолокационные устройства. М.: Сов. радио, 1970.
3. Вопросы статистической теории радиолокации. Т. 1 / П. А. Бакут, И. А. Большаков, Б. М. Герасимов и др.; Под ред. Г. П. Тартаковского. М.: Сов. радио, 1963. 424 с.
4. Теоретические основы радиолокации / Я. Д. Ширман, В. Н. Голиков, И. Н. Бусыгин и др.; Под ред Я. Д. Ширмана. М.: Сов. радио, 1970. - 560 с.
5. Бакулев П. А., Степин В. М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
6. Ширман Я. Д. и Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981. - 416 с.

УДК 621.371

Михайло Паламар д.т.н., проф., Андрій Чайковський к.т.н., доц., Володимир Кругльов, Михайло Стрембіцький к.т.н., Юрій Пастернак
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТАНЦІЇ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ДІАПАЗОНІ НАДДОВГИХ ХВИЛЬ

Розглянуто структуру модернізованої станції радіотехнічного моніторингу електромагнітного поля в діапазоні наддовгих хвиль. Запропоновано використання паралельного аналогово-цифрового перетворення вимірювальних каналів та GPS-корегованого генератора для синхронізації географічно рознесених станцій.

Ключові слова: радіотехнічний моніторинг, АЦП, наддовгі хвилі.

Mykhaylo Palamar, Andrii Chaikovskyi, Volodymyr Kruglov, Mykhaylo Strembitskiy, Yuriy Pasternak.

MODERNIZATION OF VLF ELECTROMAGNETIC FIELD MONITORING STATION

Architecture of revised VLF radio monitoring station is considered. Use of parallel ADC channel acquisition and GPSDO for geographically distinct station synchronization is proposed.

Keywords: radio monitoring, ADC, VLF band.

Спостереження електромагнітного поля в діапазоні наддовгих хвиль (3..30 кГц) використовується для моніторингу нижніх шарів іоносфера яка впливає на умови поширення природних електромагнітних збурень, що дає змогу досліджувати вплив геліогеофізичних збурень на характеристики іоносфери. Зміни профілю провідності нижньої іоносфери впливають на амплітуду і фазові швидкості сигналів низькочастотних передавачів, що також може бути використано для оцінки стану нижньої іоносфери. Завдяки високій залежності умов поширення радіохвиль цього частотного діапазону в хвилеводі Земля-іоносфера від малих величин електронної щільності, зміни їх амплітуд і фаз є найбільш чутливим індикатором аномальної іонізації. Моніторинг стану іоносфери має ряд практичних застосувань: прогнозування умов наземного та космічного зв'язку, якості супутникової навігації тощо. Зокрема аномальна іонізацією атмосфери може бути одним із передвісників землетрусу [2].

Для досліджень фізичних процесів поширення низькочастотних сигналів в хвилеводі Земля-іоносфера і локації грозових розрядів за даними однієї станції досить реєструвати тільки одну вертикальну електричну і дві горизонтальні магнітних компоненти [1]. Для реалізації спостережень електромагнітного поля в низькочастотному діапазоні використовується трикомпонентна система збору даних: електромагнітне випромінювання паралельно фіксуються двома магнітними рамковими антенами зорієнтованими по напрямках північ-південь та захід-схід і всенаправленою штировою антеною. Для підвищення чутливості вимірювання додають четвертий канал – антену із об'ємним вертикальним вібратором.

В розпорядженні Головного центру спеціального контролю ДКАУ є декілька станцій радіотехнічного моніторингу, електронне обладнання яких застаріло і вимагало оновлення. Зокрема динамічний діапазон складав лише 80 дБ, а реєстрація імпульсів здійснювалася на паперових носіях [3]. Метою роботи є розроблення модернізованої

системи аналізу та реєстрації електромагнітного випромінювання наддовгого діапазону з підвищеною чутливістю та цифровою реєстрацією вимірів.

Структурна схема модернізованої системи збору даних для реєстрації компонент електромагнітного поля в НЧ діапазоні наведена на рис. 1.

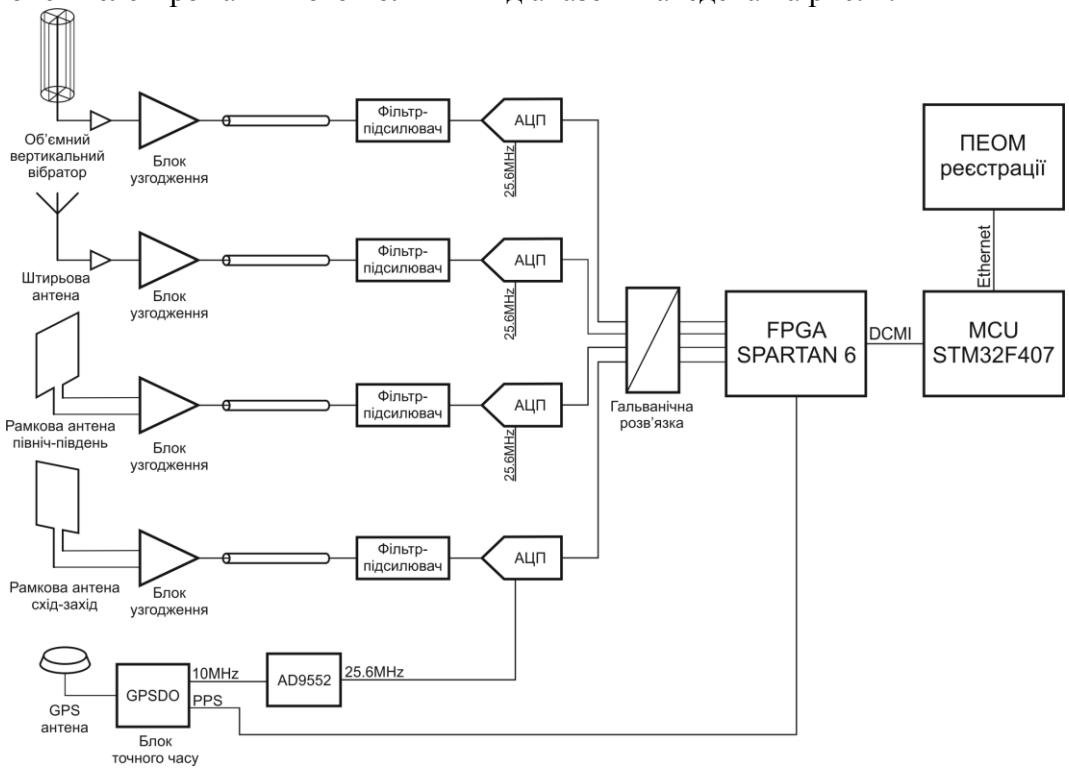


Рис. 1. Структурна схема системи збору даних

Система збору даних реалізує 4 паралельних канали аналогово-цифрового перетворення, що виключає часові розбіжності між каналами, неминучі для АЦП з мультиплексуванням каналів. Система дозволяє вести вимірювання аналогових сигналів, що надходять з антен, в частотному діапазоні до 100 кГц з динамічним діапазоном 144 дБ (використовується 24-бітний сигма-дельта АЦП AD7768 фірми Analog Devices з частотою дискретизації 200 кГц). Для реалізації широкого динамічного діапазону застосовано повне гальванічне розділення аналогової і цифрової частини. Це дозволяє придушити синфазну перешкоду навіть при розміщені антен на відстань кількох кілометрів від АЦП і виключити вплив «гучних» цифрових ланцюгів на високочутливі перетворювачі геофізичних полів.

Жорстка прив'язка до світового часу спрощує сумісне опрацювання сигналів отриманих на географічно рознесених станціях. Прив'язка до світового часу виконується за допомогою GPSDO (GPS disciplined oscillator) приймача Trimble Thunderbolt. GPSDO приймач синхронізує частоту власного кварцового генератора 10МГц до сигналу GPS із середньоквадратичною похибкою ±15 нс. Частота тактування АЦП (25.6 МГц) формується із сигналу 10МГц з допомогою програмованого PLL AD9552. Старт процесу захоплення аналогового сигналу в свою чергу синхронізується з сигналом секундної мітки GPSDO. Сумарна похибка прив'язки відліків АЦП не перевищує 1 мкс.

Результати оцифрування передаються з АЦП в FPGA (Spartan 6) та мікроконтролер STM32F407 для накладання часових міток. Отриманий потік з допомогою інтерфейсу Ethernet 100BaseT надсилається в персональний комп'ютер для реєстрації та аналізу.

На рис. 2 зображено головне вікно програми реєстрації даних. Програма в реальному часі дозволяє спостерігати осцилограму та спектрограму сигналу. Зареєстровані «сирі» форми сигналів зберігаються у чотириканальних wav-файлах протягом декількох днів. Одночасно з цим відбувається вимірювання та реєстрація амплітуди декількох несучих, заданих користувачем. Записані профілі зміни амплітуди еталонних передавачів можуть бути використані для аналізу стану іоносфери вздовж траси поширення електромагнітного випромінювання від джерела до приймача.

Окрім того, за співвідношенням амплітуд та фаз прийнятих сигналів із рамкових та штирової антени можна визначити пеленг джерела сигналу. Таким чином можна реєструвати електромагнітні атмосферні розряди природного та техногенного походження. Зареєструвавши радіоімпульс з допомогою 2-3 географічно рознесених станцій, можна визначити координати джерела сигналу. Така система може бути використаною для моніторингу грозової активності чи надземних та наземних ядерних вибухів.

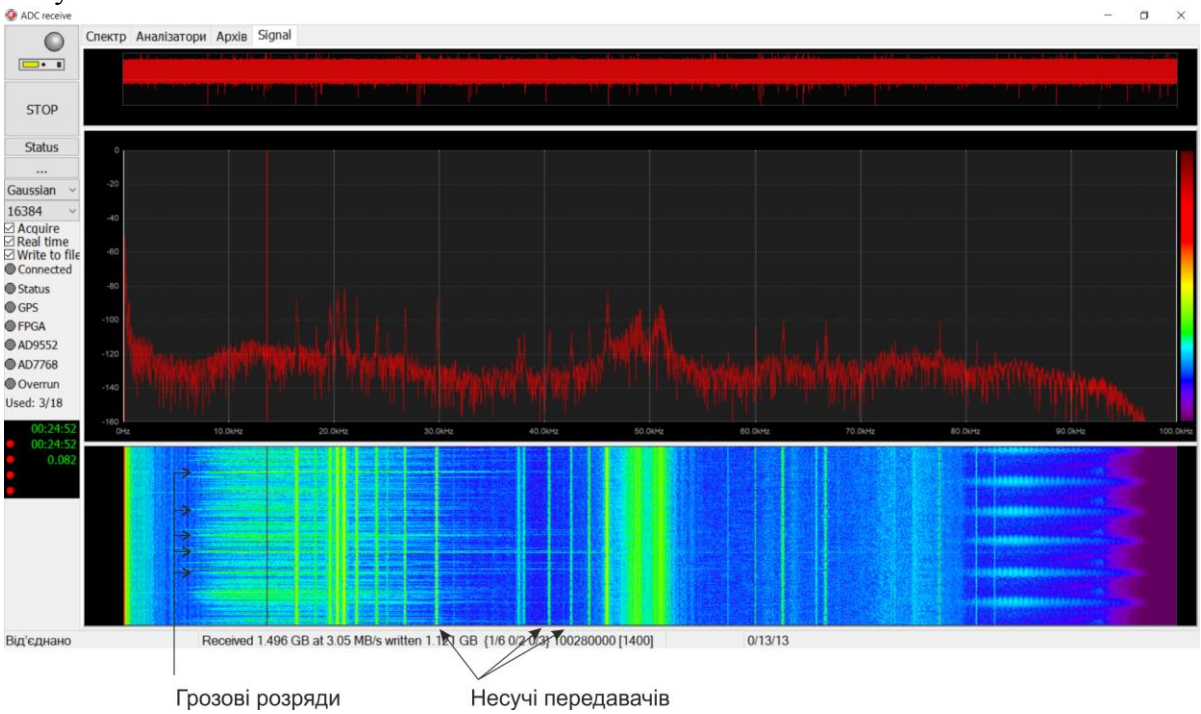


Рис. 2. Програми аналізу та реєстрації даних

Таким чином використання сучасної елементної бази дозволило підвищити чутливість та розширити функціональні можливості існуючого комплексу моніторингу. Далі нами планується розвивати можливості сумісного опрацювання сигналів із декількох станцій для визначення координат джерела сигналу та автоматичного розпізнавання атмосфериків та вістлерів.

Література

1. Burke C. P., Jones D. L. Global radiolocation in the lower ELF frequency band // J. Geophys. Res. — 1995. — Vol. 100, no. D12. — Pp. 26263–26271.

2. Лящук О. І. Комплексні підходи до пошуку ймовірних провісників землетрусів в районі гір Вранча [Текст] / О. І. Лящук, В. Ю. Савельєв, В. М. Павлович // Геодинаміка. – 2007. – № 1(6). – С. 55-59.

3. Головний центр спеціального контролю: Радіотехнічний моніторинг [Електронний ресурс] . – Режим доступу : https://gcsk.gov.ua/radiotexnichnij-monitoring.html

УДК 004.056

П.П. Процик, к.т.н. В.Л. Дунець
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ МЕРЕЖ Wi-Fi

У роботі розглянуто методи захисту Wi-Fi мереж від несанкціонованого доступу, проаналізувати їхні переваги та недоліки.

Ключові слова: інформація, метод захисту, автентифікація, Wi-Fi мережа.

P.P. Protsyk, V.L. Dunets

REFERENCE TO PROTECTION METHODS WI-FI NETWORK

The paper considers methods of protecting Wi-Fi networks from unauthorized access, analyze their advantages and disadvantages.

Keywords: information, security method, authentication, Wi-Fi network.

Функціонування більшості сучасних підприємств базується на використанні комп'ютерних мереж. Для ефективного вирішення задач, пов'язаних із мобільністю та масштабністю мережі, доцільно використовувати бездротові комп'ютерні мережі стандарту IEEE 802.11. В той же час використання бездротових мереж створює нові виклики, пов'язані з розробкою систем захисту від кіберзагроз. Якщо захисту мережі не приділити належної уваги, може трапитись втрата конфіденційної інформації користувачів, втрата доступу до ресурсів і дисків користувачів Wi-Fi-мереж і ресурсів LAN, спотворення інформації, що проходить в мережі, впровадження підроблених точок доступу і т.п. [1]

Класифікувати методи захисту бездротової мережі можна за різними ознаками, в першу чергу існують методи фізичного, технічного та програмного захисту. В дослідженні акцент робиться на останньому, як такому, що є найбільш прогресивним. Методи програмного захисту у свою чергу поділяються на методи обмеження доступу, методи автентифікації і шифрування [2].

Одним із методів обмеження доступу є фільтрування MAC-адрес. Даний метод дозволяє визначити список пристроїв і дозволити лише цим пристроям доступ до вашої мережі Wi-Fi (whitelist), або навпаки заборонити певним пристроям доступ (blacklist).

Ще одним методом обмеження доступу є режим прихованого SSID. SSID (Service Set Identifier) – це ідентифікатор мережі, який за замовченням надсилається маршрутизатором або точкою доступу бездротової мережі у режимі broadcast, тобто всім. Зазвичай точки доступу мережі Wi-Fi надсилають своє мережеве ім'я як один з інформаційних елементів, які входять до деяких кадрів керування, ці елементи, або маяки, з інформаційним елементом, ідентифікатором якого є 0. Приховати SSID, тобто припинити його транслювати в ефір, також вважається одним із методів захисту. Проте, на мою думку, це ще один не ефективний і скоріше теоретичний метод захисту. Один із фахівців Microsoft Стів Райлі про даний метод висловився так: «SSID – це мережеве ім'я, а не пароль. Бездротова мережа має SSID, щоб відрізняти її від інших бездротових мереж поблизу. SSID ніколи не розроблявся, щоб бути прихованим, і тому не забезпечить вашу мережу будь-яким захистом, якщо ви намагаєтесь сховати його» [3]. Даний метод не є ефективним, через те, що ідентифікатор "прихованої" мережі дуже легко знайти з допомогою короткочасного програмного сканування всіх доступних мереж в радіусі доступу.

Наступним методом обмеження доступу є статична IP-адресація. Цей метод захисту полягає у відключені динамічного призначення локальних IP-адрес

центральною станцією (маршрутизатором), натомість вимагаючи від користувачів вручну налаштовувати відповідні параметри мережі (адресу, маску, DNS-сервер, шлюз, тощо). Про те цей метод також не є досить ефективним, адже не забезпечує достатнього захисту від злому. До того ж, такий спосіб адресації значно ускладнює адміністрування мережі, зокрема в частині додавання нових вузлів та погіршує масштабування мережі, що неприпустимо в бездротових мережах, адже вони, навпаки, мають покращувати цей параметр.

Наступна категорія методів захисту - це методи автентифікації. До них належать відкрита автентифікація, автентифікація зі спільним ключем (WEP, WPA) і автентифікація за допомогою RADIUS-сервера.

Відкрита автентифікація дозволяє будь-якому бездротовому пристрою автентифікуватись, а потім намагатися встановити зв'язок з точкою доступу. Це не завжди означає, що одразу після автентифікації буде надано доступ до мережі. Після автентифікації може бути запитано пароль, ключову фразу, додаткові ідентифікаційні дані, тощо. Проте, такий метод автентифікації також не захищає мережу від зловмисників і може використовуватись лише на точках доступу, що відділені від основної мережі додатковими засобами захисту, наприклад брандмауером.

Автентифікація зі спільним ключем (WEP, WPA). Даний метод автентифікації є найпопулярнішим, а його ефективність залежить від стандарту захисту, який використовується для його реалізації. Під час автентифікації за допомогою спільного ключа, ключі клієнта та точки доступу повинні співпадати. Першим стандартом захисту з використанням спільного ключа був WEP (Wired Equivalent Privacy), проте попри свою гучну назву (Захист еквівалентний дротовому) цей стандарт має слабкі місця, через які процес несанкціонованого доступу до мережі стає дуже простим. До переваг даного алгоритму можна віднести лише швидкодію та простоту реалізації. Що ж стосується недоліків, то основним є те, що існують дієві методи атаки на цей алгоритм, що робить його використання не доцільним в сучасних системах. На зміну стандарту WEP прийшов стандарт WPA (Wi-Fi Protected Access) і цей стандарт виключив можливість простого способу атаки через прослуховування трафіка і, відповідно, прибрав необхідність повторно використовувати ключі шифрування. В основі стандарту WPA лежить протокол тимчасової цілісності ключів TKIP (Temporary Key Integrity Protocol). TKIP динамічно генерує новий 128-бітний ключ для кожного пакета і тим самим запобігає WEP-скомпрометованим типам атак. TKIP та відповідний стандарт WPA реалізують три нові функції безпеки для вирішення проблем безпеки, що виникали в WEP-захищених мережах [5]. По-перше, TKIP реалізує ключову функцію змішування, яка поєднує таємний корінний ключ з вектором ініціалізації, перш ніж передавати його до ініціалізації. По-друге, WPA реалізує лічильник послідовності, щоб захистити мережу від повторних атак. Пакети, що надходять не по встановленому порядку, будуть відхилені точкою доступу. По-третє, TKIP реалізує 64-розрядну перевірку цілісності повідомлень (MIC). TKIP гарантує, що кожен пакет даних надсилатиметься з унікальним ключем шифрування. Змішування ключів збільшує складність розшифровування ключів, надаючи зловмиснику суттєво менше даних, які були зашифровані за допомогою будь-якого одного ключа. Перевірка цілісності повідомлення запобігає прийняттю підроблених пакетів. У WEP було можливим змінити пакет, вміст якого був відомий, навіть якщо він не був розшифрований. Проте, незважаючи на ці зміни, слабкість захисту деяких з цих доповнень дозволила створити нові, хоч і більш складні, способи атак. Протокол TKIP не вважається надійним і офіційно не підтримується стандартом 802.11 з 2012 року [4].

Із різноманітності методів захисту для побудови бездротової Wi-Fi мережі найбільш ефективним є комбінація використання стандарту захисту WPA2 та

протоколу шифрування CCMP (Counter Mode Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol) з використанням складного ключа доступу (наприклад 14-и значного набору випадкових цифр та літер).

WPA2 виправила помилки попереднього стандарту і в основі даного стандарту лежить протокол шифрування CCMP, який в свою чергу базується на принципово новому алгоритмі шифрування AES (Advanced Encryption Standard). AES працює на принципі проектування, відомому як мережа заміщення-перестановки, що поєднує як заміщення, так і перестановку, і швидко працює як у програмному, так і в апаратному забезпеченні. Вдала атака на мережу, захищену за стандартом WPA2 з ключем, розміром 256 біт хоча і можлива теоретично, проте вимагає високої кваліфікації зловмисника, спеціального програмного/технічного забезпечення, та, що найголовніше, значного проміжку часу. Проте, і ці методи організації захисту не є досконалими і, окрім програмного захисту, потрібно також враховувати необхідність постійного моніторингу роботи мережі, організацію технічного та фізичного захисту [6].

Автентифікація за допомогою RADIUS-сервера. Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS) або Віддалений ідентифікаційний набір в службі користувача - це протокол, що забезпечує трирівневу систему: автентифікація, авторизація та облік і використовується для віддаленого доступу до мережі. Ідея полягає в тому, що існує сервер, який виконує функції «охоронця», перевіряючи ідентифікацію через ім'я користувача та пароль, які вже заздалегідь визначені користувачем. Сервер RADIUS також може бути налаштований для виконання політик та обмежень користувачів, а також запису облікової інформації, такої як час підключення для таких цілей, як платіж. Такий метод захисту досить надійний, проте вимагає додаткового обладнання, налаштування та може застосовуватись лише в комбінації з іншими методами захисту. Такий підхід захисту бездротових мереж, як правило застосовують у великих корпоративних мережах.

Провівши аналіз та порівнявши особливості методів захисту слід зауважити, що технології обмеження доступу не є надійними при побудові систем захисту комп'ютерних мереж стандарту IEEE 802.11, а що стосується методів авторизації та шифрування, то лише використання комбінації сучасних протоколів/алгоритмів та коректне налаштування мережевого обладнання дозволяє тримати прийнятний рівень безпеки.

Література

1. О. Юдін, Г. Конахович, О. Корченко, Захист інформації в мережах передачі даних: підруч. К.: Вид-во ТОВ НВП "ІНТЕРСЕРВІС", 2009, 714 с.
2. «Защита беспроводных сетей, WPA: теория и практика» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: https://www.ixbt.com/comm/prac-wpa-eap.shtml (дата звернення: 14.04.2019).
3. «S. Riley, Myth vs reality: Wireless SSIDs». [Електронний ресурс] [Веб-сайт]. - Режим доступу: https://blogs.technet.microsoft.com/steriley/2007/10/16/myth-vs-reality-wireless-ssids. [дата звернення: 14.04.2019].
4. Щербаков В.Б., Ермаков С.А. «Безопасность беспроводных сетей: стандарт IEEE 802.11». - М: РадиоСофт. - 2010. - 255 с.
5. Кіберполіція: захист мереж WI-FI - на дуже низькому рівні, 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/ 2281044-kiberpolicia-zahist-merez-wifi-na-duze-nizkomu-rivni.html [дата звернення: 14.04.2019].
6. Пролетарский А.В., Баскаков И.В., Чирков Д.Н. «Беспроводные сети Wi-Fi». - М:Бином. Лаборатория знаний, 2007. - 178 с.

УДК 621.326

О.М. Сапегін, Г.Ю. Строкач
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

АКСЕЛЕРОМЕТРИЧНИЙ ІНКЛІНОМЕТР

В даній статі розглядається створення інклінометра на основі мікромеханічного акселерометру та мікроконтролера Arduino у програмному середовищі Matlab.

Ключові слова: інклінометр, мікромеханічний акселерометр, Arduino, Matlab.

Sapegin A. assistant, Strokach G.

ACCELEROMETRIC INCLINOMETR

In current paper be introduced the creation of an inclinometer based on the microelectromechanical accelerometer and Arduino board in the Matlab software environment.

Keywords: inclinometer, microelectromechanical accelerometer, Arduino, Matlab.

Вступ

При керуванні рухомими об'єктами необхідно мати інформацію про кутове положення відносно площини горизонту. Для цього можна використовувати маятникові системи, але більш доцільно користуватися інерціальними вимірювачами, наприклад гіроскопами та акселерометрами. Якщо не має жорстких вимог точності, то інклінометр можна побудувати на основі мікромеханічних датчиків та мікроконтролерів Arduino.

Arduino це відкрита електрона платформа, що базується на легкому для сприйняття апаратному та програмному забезпеченні. Керувати платами Arduino можна надсилаючи набори інструкцій до вбудованого мікроконтролера. Одним із способів програмувати плати Arduino є "Matlab Support Package for Arduino Hardware", що дозволяє взаємодіяти з платами Arduino у середовищі Matlab.

Для підключення плати Arduino до Matlab існує команда a=arduino(port,boardname), де a – назва об'єкту Arduino, arduino() – назва функції для підключення, port – COM порт до якого підключена плата (може бути визначеним у вікні Диспетчера пристроїв, вкладка Порти (COM і LPT)), boardname – назва плати. Після цих дій плата готова для подальшої роботи.

Побудовано інклінометр (кутомір) на основі аналогового акселерометра ADXL335. Схема підключення акселерометра до плати представлена на рис.1.

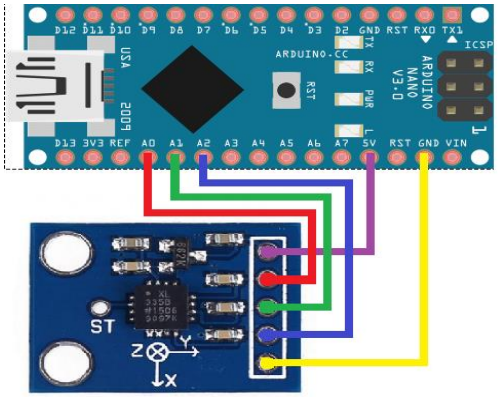


Рис. 1. Підключення акселерометра ADXL335 до плати Arduino Nano

На схемі позначено лінією фіолетового кольору провід живлення, жовтою лінією – заземлення, червоною – вихідний сигнал акселерометра по осі x, що прямує да аналогового порту A0, зеленою – вихідний сигнал акселерометра по осі y, прямує до аналогового порту A1, синьою – вихідний сигнал акселерометра по осі z, прямує до аналогового порту A2. В даному випадку підключення до комп'ютеру здійснюється за допомогою кабелю micro-USB – USB.

Калібрування акселерометра

Провести калібрування акселерометра за допомогою ОДГ (оптично ділильна головка) методом тестових поворотів [1]. Акселерометр встановлено на ОДГ у спеціальній оснастці, як показано на рис. 2.

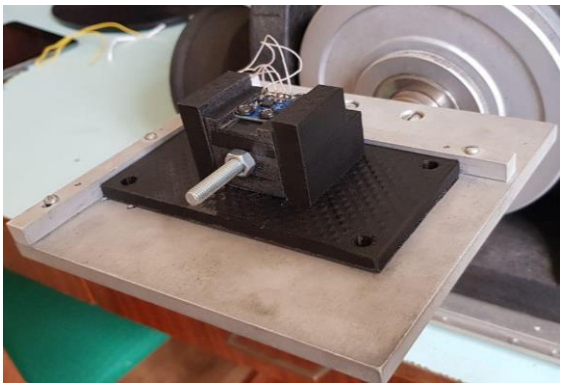


Рис. 2. Акселерометр на ОДГ

При калібруванні використовуються 4 положення, що обертаються навколо осі *x* та 4 положення навколо осі *y* з яких визначаються вихідні напруги по осям *x*, *y* та *z*, які надалі записуються у Matlab. За допомогою значень вихідної напруги, що визначаються командою readVoltage(a,'An'), де An – назва аналогового входу на платі, розраховано масштабні коефіцієнти та нульові сигнали акселерометра по формулам (1)

$$\begin{gathered}
k_{11} = (U_{ax8} - U_{ax6}) / 2\mathbf{g}; \qquad k_{12} = (U_{ax2} - U_{ax4}) / 2\mathbf{g}; \\
k_{13} = (U_{ax1} - U_{ax3} + U_{ax5} - U_{ax7}) / 4\mathbf{g}; \\
k_{21} = (U_{ay8} - U_{ay6}) / 2\mathbf{g}; \qquad k_{22} = (U_{ay2} - U_{ay4}) / 2\mathbf{g}; \\
k_{23} = (U_{ay1} - U_{ay3} + U_{ay5} - U_{ay7}) / 4\mathbf{g}; \\
k_{31} = (U_{az8} - U_{az6}) / 2\mathbf{g}; \qquad k_{32} = (U_{az2} - U_{az4}) / 2\mathbf{g}; \\
k_{33} = (U_{az1} - U_{az3} + U_{az5} - U_{az7}) / 4\mathbf{g}; \\
U_{ax0} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} U_{axi}; \qquad U_{ay0} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} U_{ayi}; \qquad U_{az0} = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8} U_{azi}.
\end{gathered} \tag{1}$$

Підставивши в рівняння (1) осереднені значення напруги за відповідних положень ОДГ при калібруванні отримаємо наступні матриці (2)

$$K = \begin{bmatrix} 0,0339 & 0,0018 & 0,0059 \\ -0,002 & 0,0353 & 0,0015 \\ -0,0003 & -0,0011 & 0,0362 \end{bmatrix}; \qquad U_{a0} = \begin{bmatrix} 1,7401 \\ 1,7377 \\ 1,7743 \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Алгоритм кутоміра

Оскільки акселерометр вимірює проекцію уявного прискорення на свою вісь чутливості, за його допомогою можна визначити кут нахилу платформи відносно

площини горизонту. Для цього встановимо акселерометр на ОДГ, як показано на рис.3. При цьому вектор **g** прискорення сили вільного падіння направлено вертикально вниз. Напрямок вісі чутливості *z* співпадає з **g**, а вісь *y* перпендикулярна йому. Тоді кут між віссю чутливості *y* і вектором **g** можна визначити як

$$\varphi = arctg\left(\frac{-(g_y / \mathbf{g})}{\sqrt{1-(g_y / \mathbf{g})^2}}\right), \qquad (3)$$

де g_y – сигнал акселерометра по вісі *y*, **g** = 9,8 $м/с^2$.

Повернемо платформу ОДГ з акселерометром на кут від 0º до 90º з кроком у 10º навколо осі *x* так, яка показано на рис.3. При цьому значення вимірюваних прискорень запишемо у окремий файл.

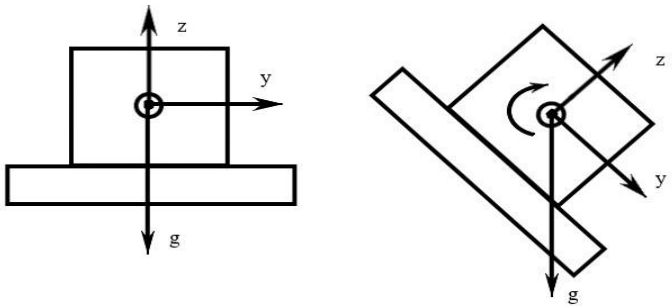
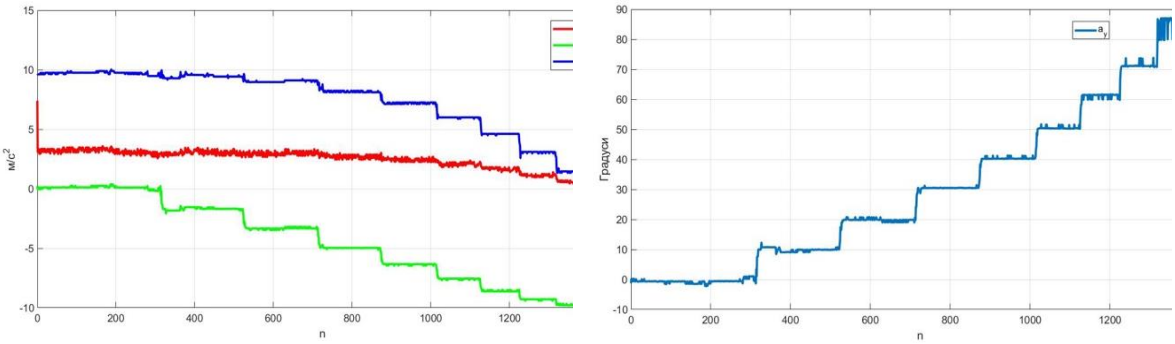


Рис. 3. Поворот ОДГ

Отримані експериментальні значення відкалібровані за (1) та представлені на рис. 4 а). Результати розрахунку кута нахилу ОДГ за формулою (3) наведені на рис.4 б).



а) б)

Рис. 4. Результати досліджень

Висновок

З рис. 4 б) видно, що прилад працює адекватно і кутове положення платформи ОДГ, на якій було встановлено акселерометр, визначено з необхідною точністю.

Література

1. Мелешко В.В. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы : [Учебное пособие] / В.В. Мелешко, О.И. Нестеренко. –Кировоград: Полимед-Сервис, 2011. – 172с.

Секція: СУПУТНИКОВІ ТА НАЗЕМНІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Керівник: доц. Василь Дунець

УДК 004.71

Ірина Дедів, к.т.н, Т.Качор

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРОВАНОЇ КАБЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

У даній роботі розглянуто принципи проектування структурованої кабельної системи, її відмінність від звичайної системи, а також основні переваги.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, кабельна система, структурована кабельна система, магістраль, кручена пара.

Iryna Dediv, T. Kachor

THE REASONING OF ACCURACY OF STRUCTURED CABLE SYSTEM FOR THE DESIGN OF TELECOMMUNICATION NETWORKS

In this paper, the principles of designing a structured cabling system, its distinction from the ordinary system, as well as the main advantages.

Keywords: telecommunication network, cable system, structured cable system, trunk, twisted pair.

На сучасному етапі розвитку суспільства практично неможливо уявити діяльність підприємства без використання інформаційних технологій. Підприємства активно використовують інформаційні технології для автоматизації своєї роботи, очевидно, що для вирішення цих завдань необхідна високонадійна інформаційна мережа. Основу будь-якої інформаційної мережі становить середовище передавання тому, у більшості випадків не стабільна робота або аварійні ситуації виникають через проблеми у середовищі передавання – кабельній системі. Сьогодні сучасна кабельна система розглядається як невід'ємний атрибут будинку, який повинен експлуатуватися протягом десятків років. При цьому кабельна система повинна забезпечувати роботу будь-яких типів телекомунікаційних й інформаційних мереж, через це існує концепція структурованої кабельної системи – СКС. Інсталяція (монтаж) кабельної системи в будинку можлива у тому випадку, коли будинок для цього пристосований – тобто має відповідним чином підготовлені кабельні канали для прокладання кабельних трас, виділені місця для організації технічних приміщень тощо. Найбільш оптимальним способом створення кабельної системи будинку є закладання її елементів на етапі проектування одночасно з водопроводом і каналізацією, опаленням і вентиляцією, електропостачанням. Ці три системи є капітальними системами будинку й служать протягом усього терміну експлуатації будинку. Телекомунікаційна кабельна система, якщо вона спроектована й інстальована відповідним чином, теж може використовуватися протягом 15–20 років і, таким чином, також є капітальною системою. Сьогодні кабельна система частіше монтується в уже існуючому будинку, який для цього непристосований. У цьому випадку необхідно здійснити підготовку будинку до монтажу системи, а потім провести інсталяцію самої системи. У сучасному будинку присутні різноманітні інженерні системи – телебачення (ефірне та кабельне), локальні мережі та телефонія, системи охоронної та пожежної сигналізації, різні системи автоматизації та інші системи. Це приводить до того, що будинок стає складним технічним об'єктом (такі будинки називають «інтелектуальними» (smart

building)), управління яким вимагає значного обсягу знань та високої кваліфікації. Концепція інтелектуального будинку отримує все більше розповсюдження, сьогодні вже існують сотні будинків, які повною мірою можна віднести до інтелектуальних. Наявність єдиної кабельної системи є однією з характерних ознак інтелектуального будинку. Виходячи з цього очевидно, що якісна кабельна система є необхідною умовою забезпечення якісної й безперебійної роботи як інформаційної мережі підприємства (будинку), так і різних систем автоматизації. [1]

Структурована кабельна система (Structured Cabling System, SCS) – це кабельна система, що включає в себе всі необхідні пасивні компоненти для створення середовища передачі інформації: телекомунікаційні кабелі, з'єднувальні патч-корди, пасивне комутаційне обладнання. Структуризація дозволяє здійснювати розбивку кабельної проводки та її аксесуарів на окремі частини або підсистеми, кожна з яких виконує строго певні функції та оснащена стандартним інтерфейсом для зв'язку з іншими підсистемами та мережним обладнанням. До складу будь-якої підсистеми обов'язково включається розвинений набір засобів перемикання, що забезпечує її високу гнучкість і дозволяє створювати складні структури, які швидко змінюються й адаптуються під потреби конкретних додатків конфігурації. Така, система відрізняється від звичайної кабельної системи тим, що вона структурована: має певну архітектуру і топологію; створюється на базі стандартних компонентів, певних принципів, з урахуванням правил та вимог стандартів (рис.1). [1]

Структурована кабельна система представляє свого роду "конструктор", за допомогою якого проектувальник мережі будує потрібну йому конфігурацію зі стандартних кабелів, з'єднаних стандартними роз'ємами й комутують на стандартних кросових панелях. При необхідності конфігурацію зв'язків можна легко змінити - додати комп'ютер, сегмент, комутатор, вилучити непотрібне обладнання, а також поміняти з'єднання між комп'ютерами й концентраторами.

Рис. 1. Компоненти СКС

Структурована кабельна система планується й будується ієрархічно, з головною магістраллю й численними відгалуженнями від неї (рис. 2).[2]

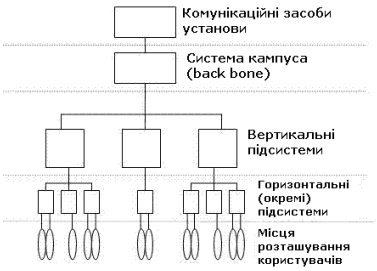


Рис. 2. Ієрархія структурованої кабельної системи

Типова ієрархічна структура структурованої кабельної системи (рис. 2) включає:

- горизонтальні підсистеми (у межах поверху);
- вертикальні підсистеми (усередині будинку);
- підсистему кампуса (у межах однієї території з декількома будинками).[2]

Тому, при будівництві інтелектуальних будинків варто здійснювати проектування кабельної системи з використання структурованої системи, яка враховує ряд переваг:

1. Універсальність. Структурована кабельна система при продуманій організації може стати єдиним середовищем для передачі комп'ютерних даних у локальній обчислювальній мережі, організації локальної телефонної мережі, передачі відеоінформації й навіть передачі сигналів від датчиків пожежної безпеки або охоронних систем. Це дозволяє автоматизувати багато процесів контролю, моніторингу й керування господарськими службами й системами життєзабезпечення підприємства.
2. Збільшення терміну служби. Строк морального старіння добре структурованої кабельної системи може становити 10-15 років.
3. Зменшення вартості додавання нових користувачів і зміни їх місць розташування. Відомо, що вартість кабельної системи значна й визначається в основному не вартістю кабелю, а вартістю робіт з його прокладки. Тому більш вигідно провести однократну роботу із прокладки кабелю, можливо, з більшим запасом по довжині, в кілька разів виконувати прокладку, нарощуючи довжину кабелю. При такому підході всі роботи з додавання або переміщення користувача зводяться до підключення комп'ютера до вже наявної розетки.
4. Можливість легкого розширення мережі. Структурована кабельна система є модульною, тому її легко розширювати. Наприклад, до магістралі можна додати нову підмережу, не роблячи ніякого впливу на існуючі підмережі. Можна замінити в окремій підмережі тип кабелю незалежно від іншої частини мережі. Структурована кабельна система є основою для розподілу мережі на легко керовані логічні сегменти, тому що вона сама вже розділена на фізичні сегменти.
5. Забезпечення більш ефективного обслуговування. Структурована кабельна система полегшує обслуговування й пошук несправностей у порівнянні із шинною кабельною системою. При шинній організації кабельної системи відмова одного із пристроїв або сполучних елементів приводить до важкої локалізації відмови всієї мережі. У структурованих кабельних системах відмова одного сегмента не діє на інші, тому що об'єднання сегментів здійснюється за допомогою концентраторів. Концентратори діагностують і локалізують несправну ділянку.
6. Надійність. Структурована кабельна система має підвищену надійність, оскільки виробник такої системи гарантує не тільки якість її окремих компонентів, але і їхню сумісність.[3]

Література

1. Царьов Р.Ю. Структуровані кабельні системи: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів. / Царьов Р.Ю., Нікітюк Л. А., Резніченко П. І. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 260 с.: іл.
2. Комп'ютерні мережі: [навчальний посібник] / А. Г. Микитишин, М. М. Митник, П. Д. Стухляк, В. В. Пасічник. — Львів: «Магнолія 2006», 2013. — 256 с. ISBN — 978-617-574-087-3
3. Семенов А. Б. Структурированные кабельные системы. [5-е изд]/ Семенов А. Б., Стрижаков С. К., Сунчелей И. Р. М.: Компания АйТи, «ДМК Пресс», 2004.

УДК621.3.095

Григорій Химич, Юрій Умзар, к.т.н., доц., Олександр Мулик, Віталій Черній
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
Тернопільський коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ОФСЕТНОЇ АНТЕНИ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ВИКОРИСТАННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ РЕФЛЕКТОРА.

Створений натурний зразок антенного пристрою на основі офсетної антени з еквівалентним діаметром 2,4м. Опромінювачем служить тефлоновий стрижень. При випробуванні натурного взірця отримані результати діаграми спрямованості, яка ідентична розрахунковому значенні.

Ключові слова: тефлоновий опромінювач, діаграма спрямованості, антенний пристрій.

Hrygorij Khymych,Yurij Umzar, Olekcandr Mulyk, Vitalij Chernij

OPTIMIZATION OF THE OFFSET ANTENNA BY COEFFICIENT USING THE WORKING SURFACE OF THE REFLECTOR.

A full-scale sample of an antenna device based on a offset antenna with an equivalent diameter of 2.4 m is created. Illuminator is Teflon rod. When testing a full-scale model, we obtain the results of a directional diagram that is identical to the calculated value.

Keywords. Teflon feed, directional diagram, antenna device.

Враховуючи те, антенний пристрій у радіотехнічному комплексі складає (30 – 50)% від загальної кількості електронних пасивних та активних пристроїв, необхідно виважено вибирати антену при проектуванні цілого комплексу або системи. Від антенного пристрою залежить якість сигналів, особливо з низьким динамічним рівнем, коефіцієнт шуму, мінімізація завадного середовище у момент прийому. Така робота виконується у чотири етапи: розрахункова частина в залежності від технічного завдання, математична модель, програмна верифікація технічних характеристик, створення натурного взірця з вимірюванням технічних параметрів та порівняння результатів.

У даній роботі представлений натурний взірець антенного пристрою С – діапазону, який створений на основі невісесиметричної (offset) антени з еквівалентним діаметром рефлектора 2,4м. На основі методу поверхневих хвиль опромінювачем служить діелектричний тефлоновий стрижень, який спряжений з хвилевідно – коаксіальним переходом за допомогою конусного хвилеводу. Коефіцієнт стоячої хвилі такого опромінювача представлений на рис.1.

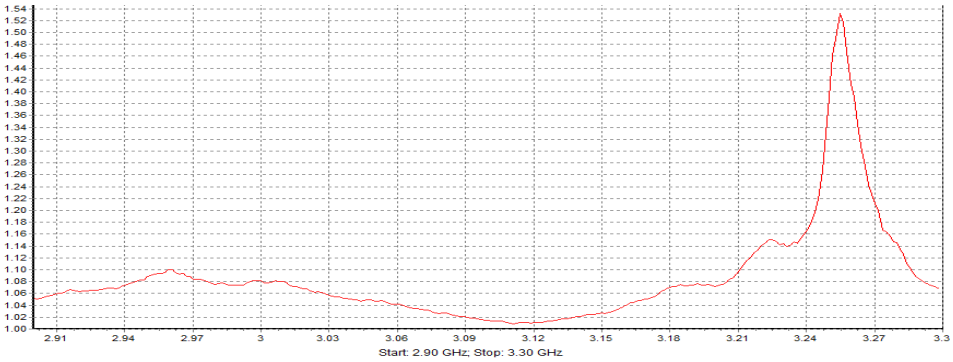


Рис. 1. Коефіцієнт стоячої хвилі дослідного зразка опромінювача

Натурний взірець опромінювача представлений на рис.2.

Рис. 2. Натурний взірець дослідного зразка опромінювача

Даний опромінювач з діаграмою спрямованості наближеною до оптимальної, збуджується круглим хвилеводом з переходом на прямокутний хвилевід, рис.2. Як відомо, опромінювачі такого типу характеризуються вісесиметричною діаграмою направленості, низьким рівнем бокового та кросполяризаційного випромінення при мінімальних поперечних габаритах, дозволяють знизити втрати на розсіяння і широко використовуються у високоефективних дзеркальних антенах.

Математичний аналіз такої діаграми спрямованості показано на рис. 3.

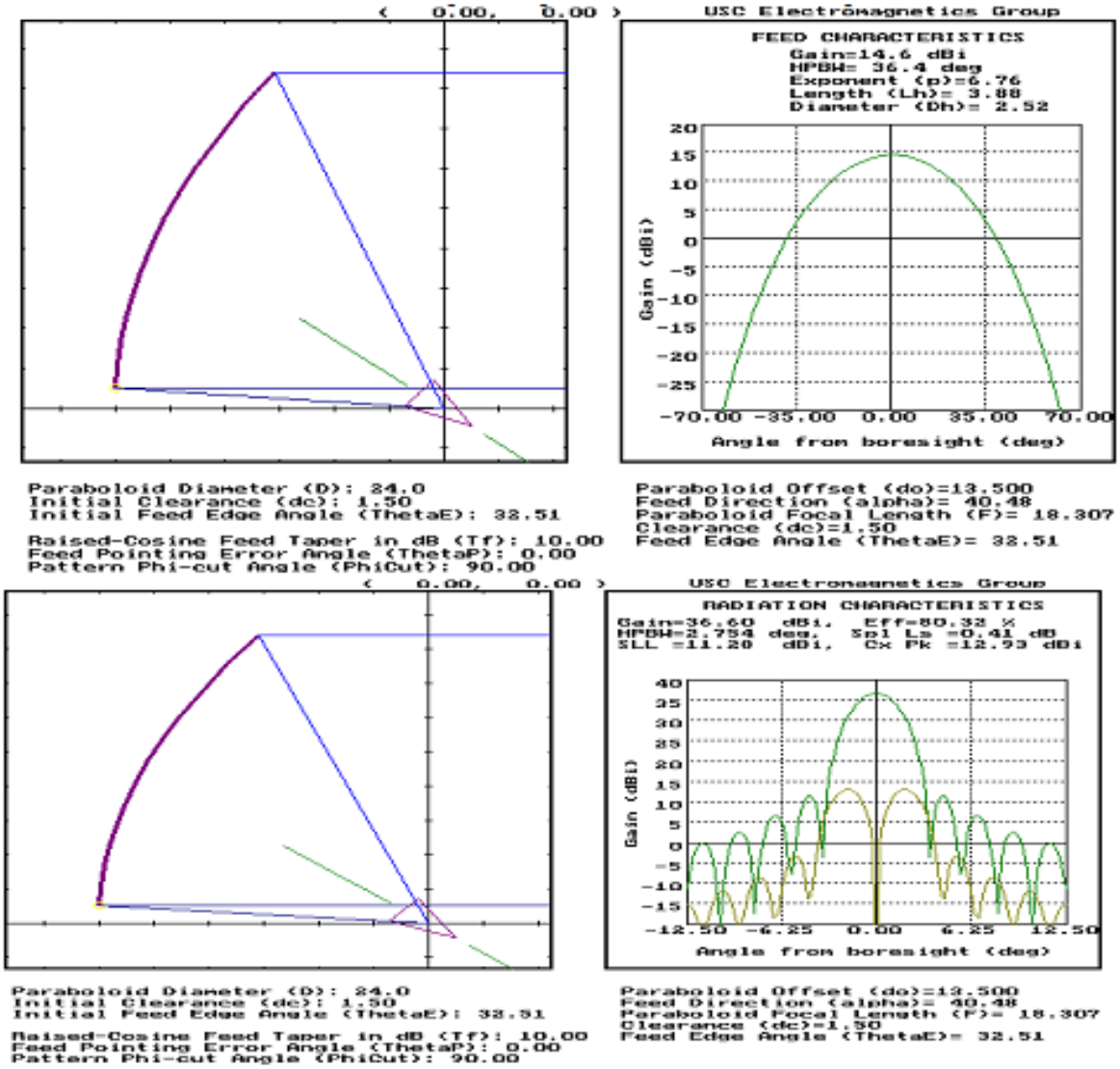


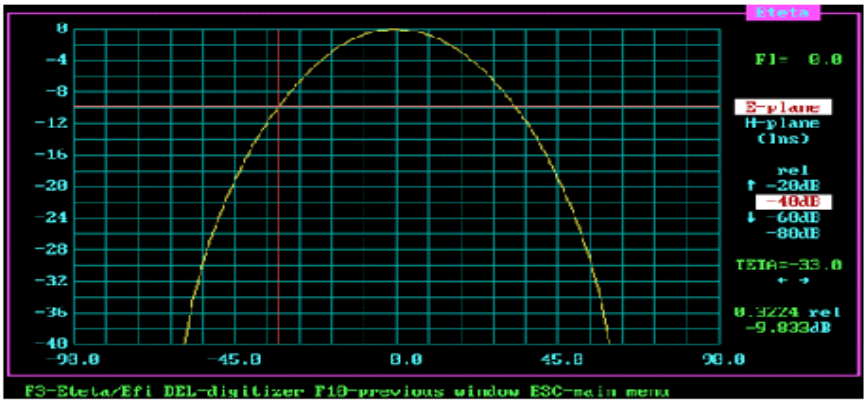
Рис. 3. Результати математичного моделювання оптимальних характеристик

Як видно, при використанні оптимального (з точки зору використаної програми) опромінювача, апертурна ефективність антени складає 80.3%, складова втрат на розсіяння енергії опромінювача дорівнює -0.41дБ. Сумарні втрати при цьому характеризуються коефіцієнтом 0,731, що є типовим для антен такого класу.

Для зручного транспортування розбірний рефлектор має ромбовидну форму і складається з чотирьох окремих пелюстків, які встановлюються у зручну транспортну тару. Для збільшення підсилення вхідного сигналу створений чотириканальний опромінювач на основі фазованої градки. На рис 4 показаний дослідний взірець такої опромінюючої градки з чотирьох окремих опромінювачів.

Рис. 4. Чотириканальний опромінювач на основі фазованої градки

З використанням програмно методичного комплексу "VariantM" проведені розрахунки діаграм направленості антени з чотирьох канальним опромінювачем. Результати показані на рис.5.



Діаграма направленості фазованого опромінювача

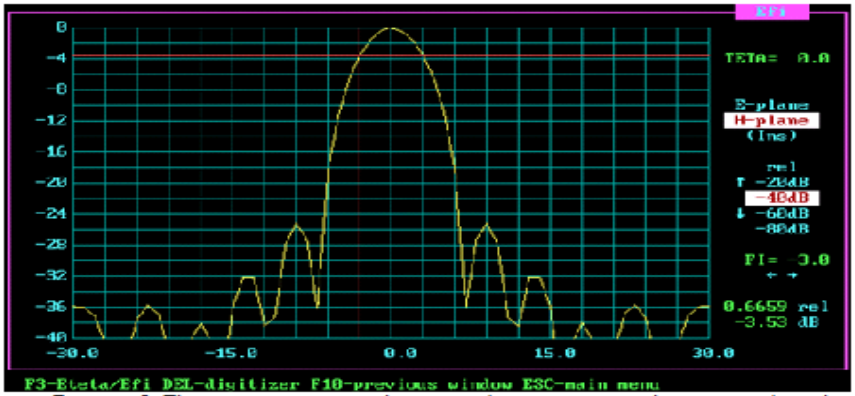


Рисунок 5. Діаграма направленості антени з фазованим опромінювачем у фокусі

Отже можна констатувати, що на основі діелектричних опромінювачів створений та виготовлений дослідний оптимізований взірець антенного пристрою.

Якість антенного пристрою оцінюється величиною коефіцієнта використання поверхні (КВП), який в загальному випадку рівний :

$$\text{КВП} = \prod_{i=1}^{8} K_i$$

де: $К_1$ - коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок нерівномірності ампітудного розподілу;

$К_2$- коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок розсіювання енергіі опромінювача;

$К_3$- коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок нерівномірності фазової діаграми спрямованості і дефокусування дзеркальної системи;

$К_4$- коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок неточності виготовлення рефлектора;

$К_5$- коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок існування кроссполяризаціі;

$К_6$- коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок коефіцієнта стоячої хвилі (КСХН).

Загальні результати оцінки КВП антенного пристрою на робочій частоті діапазону зведені в табл.1.

Таблиця 1

Позначення	Найменування	Величина складових КВП
К1	Втрати за рахунок нерівномірності амплітудного розподілу	0,80
К2	Втрати за рахунок розсіяння енергії опромінювача	0,90
К3	Втрати за рахунок нерівномірності фазової ДС опромінювача	0,93
К4	Втрати за рахунок неточності виготовлення рефлектора	0,98
К5	Втрати за рахунок кросполяризаціі	0,95
К6	Втрати за рахунок КСХН	0,96
КВП	Сумарний коефіцієнт використання поверхні	0,59

Очікуєма величина коефіцієнта підсилення антени може бути визначена за формулою:

$$\text{G}= 10lg\left[\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \times \text{КВП}\right],\ dB$$

де, D – еквівалентний діаметр рефлектора антени, мм;

λ – довжина хвилі, мм;

КВП – коефіцієнт використання поверхні антени.

У нашому випадку коефіцієнт підсилення антенного пристрою дорівнює G= 35,7dB, що задовільняє встановлені технічні вимоги на дану систему.

УДК 681.518

Мирослава Яворська, к.т.н., доц., Ігор Зелінський, к.ф.-м.н., доц., Михайло Паламар, д.т.н., проф., Тарас Горин
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ОПТИЧНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОВЕРХНІ РЕФЛЕКТОРА АНТЕНИ

Досліджується точність модифікованого методу оптичної тріангуляції для контролю поверхні рефлектора параболічної антени. Дано оцінки до вимог до точності вимірюваного обладнання при реалізації запропонованого варіанту методу оптичної тріангуляції із змінною вимірювальною базою.

Ключові слова. Оптична тріангуляція, оптичний пристрій, дистанційні вимірювання.

Igor Zelinskyi , Mykhaylo Palamar, Myroslava Yavorska, Taras Horyn

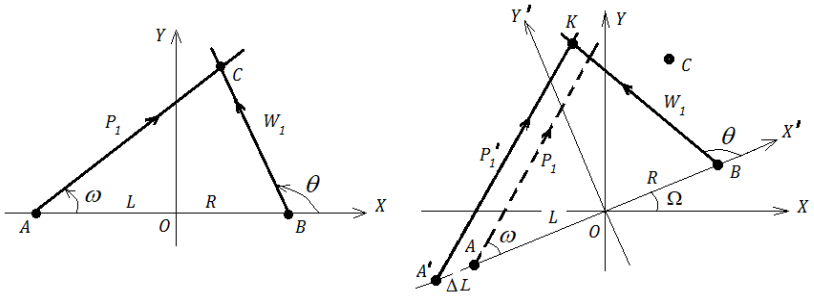
THE ACCURACY ESTIMATION OF THE OPTICAL DEVICE FOR THE ANTENNA SURFACE MEASUREMENT

The accuracy of the modified optical triangulation method for the parabolic reflector measurement is studied. The estimates to the requirements for the accuracy of the measured equipment are given.

Keywords. Optical triangulation, optical device, remote measurement.

Досліджено точність модифікованого методу дистанційного вимірювання просторових координат за допомогою оптичної системи, представленої на рис.1б).

В основу запропонованого методу покладено принцип оптичної тріангуляції [1,3], (рис. 1 а).



а) б)

Рис. 1. Схеми вимірювань координат поверхні методом оптичної тріангуляції (а) та методом оптичної тріангуляції із змінною вимірювальною базою (б).

На похибки обчислення координат віддалених позицій впливають похибки виставлення безпосередньо вимірюваних параметрів. У випадку на рисю 1а) – кутів ω, θ, оскільки робочі формули перерахунку координат мають наступний вигляд:

$$x = \frac{R + L \cdot tg\omega \cdot ctg\theta}{1 - tg\omega \cdot ctg\theta}, \qquad (1)$$

$$y = \frac{R + L}{ctg\omega - ctg\theta}. \qquad (2)$$

З врахуванням співвідношень (1) і (2) і за умови що $\Delta\omega = \Delta\theta$ можна показати, що загальне відхилення від виміряної позиції, спричинене похибками обладнання, становитиме:

$$\Delta_r = \sqrt{|\Delta x|^2 + |\Delta y|^2} = \frac{R+L}{\sin^2(\theta-\omega)}\Delta\omega. \qquad (3)$$

де $\Delta\omega, \Delta\theta$ - гранично допустимі похибки експериментального обладнання у фіксуванні кутів ω, θ.

Тобто вимога дотримання допустимої похибки у визначенні просторового положення точки в межах ~ ± 0.3 мм передбачає можливість реєстрації кутових переміщень на вимірювальному обладнанні з точністю

$$\Delta\omega \le 0.0003\frac{\sin^2(\theta-\omega)}{R+L}(rad),$$

а за оцінкою зверху, наприклад, для *R=300мм, L=700 мм,* $\Delta\omega \le \frac{0.0003}{R+L}(rad) = 1.03''$

Якщо ж вимоги до точності вимірювань знижені до ~ ±0.5 мм , похибки виставлення кутів ω, θ не повинні перевищувати 1.72´´.

Отже, згідно з проведеними оцінками, реалізація методу оптичної тріангуляції за схемою на рис. 1а) для контролю поверхні дзеркала антени потребує застосування високоточного та очевидно дорогого за собівартістю обладнання .

В запропонованому варіанті методу оптичної тріангуляції [2], вимірбвальна схема якого показана на рис. 1б), значення кутів ω, θ утримуються постійними під час вимірювань, а фіксування пучків P_1 та W_1 на виміряваній позиції, наприклад в точці К, досягають шляхом повороту вимірювальної бази *AB* на кут *Ω* та зміни вимірювальної бази на величину *ΔL*.

Координати точок поверхні в системі координат приладу в такому випадку знаходимо за співвідношеннями (4), (5):

$$x = \frac{R+(L\pm\Delta L)\cdot tg\omega\cdot ctg\theta}{1-tg\omega\cdot ctg\theta}\cdot\cos\Omega - \frac{R+L\pm\Delta L}{ctg\omega - ctg\theta}\cdot\sin\Omega, \qquad (4)$$

$$y = \frac{R+(L\pm\Delta L)\cdot tg\omega\cdot ctg\theta}{1-tg\omega\cdot ctg\theta}\cdot\sin\Omega + \frac{R+L\pm\Delta L}{ctg\omega - ctg\theta}\cdot\cos\Omega, \qquad (5)$$

а похибки в обчисленні координат Δx, Δy - за співвідношеннями (6), (7):

$$|\Delta x| \le \left|\frac{\partial x}{\partial L}\right|\cdot\Delta L + \left|\frac{\partial x}{\partial\Omega}\right|\cdot\Delta\Omega, \qquad |\Delta y| \le \left|\frac{\partial y}{\partial L}\right|\cdot\Delta L + \left|\frac{\partial y}{\partial\Omega}\right|\cdot\Delta\Omega. \qquad (6)$$

$$\Delta_r = \sqrt{|\Delta x|^2 + |\Delta y|^2} = \frac{R+L}{\sin^2(\theta-\omega)}\Delta\omega \qquad (7)$$

Приймаючи до уваги інстальовані у досліджуваному пристрої значення : *R=300мм, L=700 мм,* ω*=1.22rad,* θ*=1.57 rad,* , співвідношення (6) і (7) можемо представити у вигляді:

$$x = 0.3\cos\Omega - 2.75(1+\Delta L)\sin\Omega,$$

$$y = 0.3\sin\Omega + 2.75(1+\Delta L)\cos\Omega.$$

Звідси

$$|\Delta x| \le (2.75\sin\Omega)\Delta_{\Delta L} + C(\Delta L)\sin(\Omega+\Theta)\Delta\Omega,$$

$$|\Delta y| \le (2.75\cos\Omega)\Delta_{\Delta L} + C(\Delta L)\cos(\Omega+\Theta)\Delta\Omega,$$

$$C(\Delta L) = \sqrt{7.49 + 5.54\Delta L + \Delta L^2},\ \Theta = a\tan\frac{0.3}{2.75(1+\Delta L)},$$

тобто відхилення вимірюваної позиції від результату вимірювання не перевищуватиме

$$|\Delta r| \le \sqrt{|\Delta x|^2 + |\Delta y|^2} = \sqrt{7.56\Delta_{\Delta L}^2 + C(\Delta L)^2\Delta\Omega^2 + 5.5C(\Delta L)\cos\Theta\Delta_{\Delta L}\Delta\Omega},$$

або

$$|\Delta r| \le \sqrt{7.56\Delta_{\Delta L}^2 + C(\Delta L)^2\Delta\Omega^2 + 15.13(1+\Delta L)\Delta_{\Delta L}\Delta\Omega} \qquad (8)$$

Отже,кщо допустима похибка визначення координат точки становить ±0.3 мм, то гранично допустимі помилки фіксування довжини бази $\Delta_{\Delta L}$ і кута повороту $\Delta\Omega$ повинні задовільняти нерівність

$$\sqrt{7.56\Delta_{\Delta L}^2 + C(\Delta L)^2\Delta\Omega^2 + 15.13(1+\Delta L)\Delta_{\Delta L}\Delta\Omega} \le 0.0003. \qquad (9)$$

Слід зауважити, що, на відміну від (5), у нашому випадку похибка в робочому діапазоні зміни вимірюваних величин $\Omega, \Delta L$ практично не залежить від їх значень. Оскільки область зміни ΔL знаходиться в межах кількох міліметрів, що становить тисячні частки від загальної довжини бази, для наближеної оцінки передбачуваних відхилень можемо використовувати співвідношення

$$\sqrt{7.56\Delta_{\Delta L}^2 + 2.74\Delta\Omega^2 + 15.13\Delta_{\Delta L}\Delta\Omega} \le 0.0003 \qquad (11)$$

На рис.2 приведено залежність похибки вимірювання від точності визначення лінійного (0.05мм – 0.12мм) та кутового (1′′ - 9′′.)переміщення бази. Заштриховано область зміни $\Delta\Omega$ і $\Delta_{\Delta L}$, для якої похибка вимірювання не перевищує 0.3мм. Якщо

допустима похибка визначення координат ~ ±0.5 мм, вимоги до похибок визначення довжини бази зменшуються і складають ~ 0.2 мм, а вимоги до кута повороту ~ 7´´.

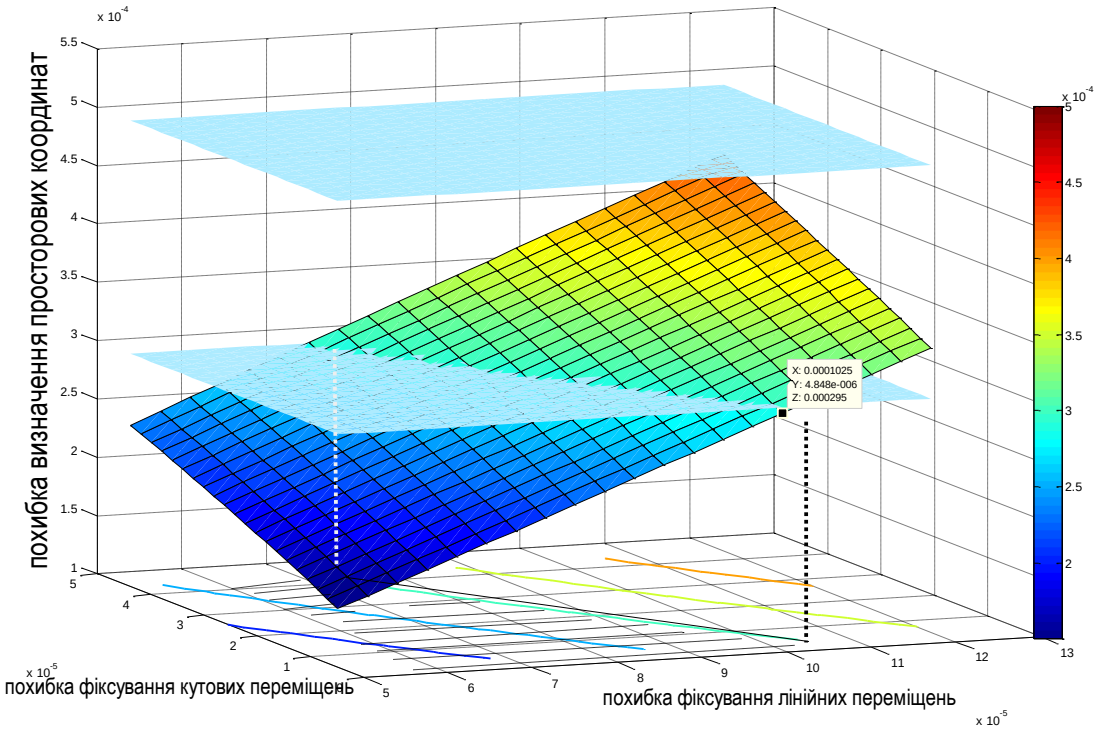


Рис. 2. Залежність похибки вимірювання від точності фіксування лінійних і кутових переміщень.

Як бачимо, точнісні оцінки обох варіантів вимірювання показують, що запропонований метод оптичної тріангуляції із змінною базою дозволяє використовувати обладнання із меншими вимогами до точності фіксування кутових переміщень. Причому половина операцій вимірювання кутових переміщень замінена вимірюваннями зміни довжини бази, а контроль лінійного переміщення з точністю ~ (0,1 – 0,2) мм технічно нескладний.

Література

1. Axel Donges, Reinhard Noll. Laser Measurement Technology. Fundamental and Applications. ISBN: 978-3-662-43633-2.

2. Palamar M., Zelinsky I., Yavorska M. The device for remote measuremrnts of parameters of antenna reflectors // Вимірювальна техніка та метрологія. - 2015. - №76.

3. Белянский П.В., Терехова Г.А. Методы измерения профиля отражающей поверхности больших наземных и космических антенн // Зарубежная радиоэлектроника. - №2. - 1985. - С.68-84.

Секція: ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

Керівник: доц. Володимир Яськів

УДК 621.314.6

Тетяна Ковальова, Андрій Мазур
Чернігівський національний технологічний університет Коледж транспорту та комп'ютерних технологій ЧНТУ, Україна

ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ НА IR2153

Запропоновано схемні рішення лабораторного імпульсного блоку живлення на IR2153 з можливістю захисту за струмом.

Ключові слова: блок живлення, випрямляч, стабілізація, напруга, струм.

Tetiana Kovalyova, Andrii Mazur

PULSE POWER SUPPLY ON IR2153

The circuit solutions of the laboratory pulse power supply unit on the IR2153 with the possibility of current protection are proposed.

Keywords: power supply, rectifier, stabilization, voltage, current.

Вступ

Тема імпульсних джерел живлення досить актуальна і цікава, і є однією з найважливіших областей силової електроніки. Даний напрямок електроніки перспективний і стрімко розвивається. І його основною метою є розробка потужних пристроїв живлення, що відповідають сучасним вимогам надійності, якості, довговічності, мінімізації маси, розмірів, енерго- і матеріалоємності. Практично вся сучасна електроніка, включаючи ЕОМ, аудіо-, відеотехніку та інші сучасні пристрої живляться від компактних імпульсних блоків живлення, що ще раз підтверджує актуальність подальшого розвитку зазначеної області джерел живлення.

Головна проблема, яка стоїть перед розробниками джерел живлення - це максимальне підвищення його ККД, що дає змогу економити природні ресурси, які витрачаються на видобуток цієї електричної енергії та зменшення їх габаритних розмірів, а це вимагає зменшення розмірів його складових частин.

Лабораторний блок живлення розрахований на підключення до нього всілякої низьковольтної електронної техніки, забезпечення побутових електронних потреб, зручний при ремонті апаратури, зарядки акумуляторів і незамінний в лабораторних роботах. Завдяки невисокій вартості розробки та великому попиту, на ринку представлений досить широкий спектр джерел живлення.

Метою роботи є дослідження переваг імпульсних блоків живлення та вибір оптимального схемотехнічного рішення побудови лабораторних імпульсних джерел струму та напруги [1], [6].

Результати дослідження

Принцип роботи блоків живлення з перетворенням напруги полягає в тому, що вхідна напруга перетворюється в змінну напругу з частотою 30-60 кГц. Подальше її перетворення здійснюється по класичних методах. Практично всі джерела імпульсного живлення незначно відрізняються за конструкцією і працюють по типовій схемі (рис.1).

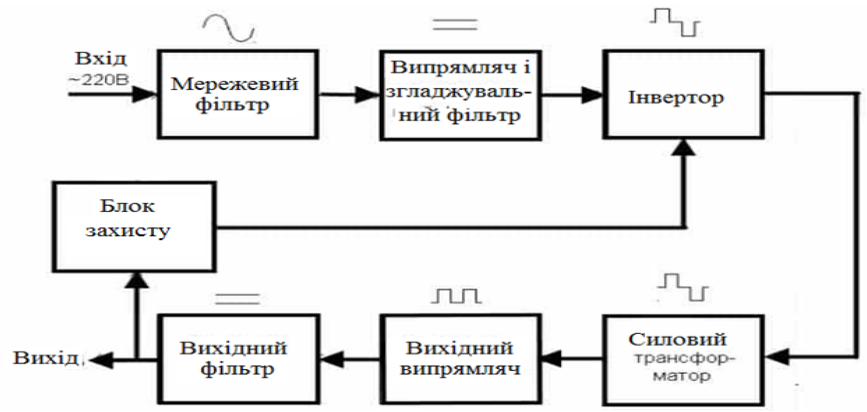


Рис. 1. Структурна схема імпульсного блоку живлення

Алгоритм роботи імпульсного блоку живлення:

- живлення поступає на мережевий фільтр, його завдання мінімізувати мережеві перешкоди, що виникають внаслідок роботи;
- далі випрямлячем та згладжувальним фільтром синусоїдна напруга перетворюється в імпульсну постійну та згладжується;
- інвертором формуються прямокутні високочастотні сигнали;
- далі імпульсний трансформатор (ІТ) необхідний для автоматичного генераторного режиму, подачі напруги на ланцюги захисту та навантаження. ІТ забезпечує гальванічну розв'язку між ланцюгами високої та низької напруги [2].

В роботі проаналізовано різні схемотехнічні рішення щодо побудови лабораторного імпульсного блоку живлення, наведені їхні недоліки та запропоновано оптимальну схему реалізації на мікросхемі IR2153 (рис. 2), яка являє собою інтегрований напівмостовий драйвер з генератором, що включена по типовій схемі.

Технічні характеристики імпульсного блоку живлення:

- вхідна напруга, В 220 В ± 10%
- номінальна вихідна напруга, В 12 В ±2%
- номінальний вихідний струм, не менше 1,5 А

Імпульсний блок живлення видає стабілізовану живлячу напругу за рахунок використання принципів взаємодії елементів інверторної схеми. Мережева напруга 220 В через запобіжник FU1 та термістор NTC поступає на мережевий фільтр, побудований на дроселях L1, L2 та конденсаторах C1, C2, на діодний міст DA1, який виконує роль випрямляча. Для усунення пульсації випрямленої напруги застосовуються два високовольтних конденсатори C4, C5 та резистори R2, R3. Така схема обрана виключно для зменшення габаритів блоку живлення та собівартості.

Мережевий фільтр згладжує пульсації вхідної напруги, а термістор слугує для ослаблення стрибка напруги при включенні.

Живлення інтегральної мікросхемі IR2153 (DA2) здійснюється від 220 В через гасячий конденсатор C3, резистор R1 та елементи VD1, VD2, VD4, конденсатор C6 та стабілітрон VD3.

Мікросхема DA2 створює для живлення первинної обмотки трансформатора T1 прямокутні імпульси, орієнтовно з частотою 40 кГц, яка визначається ємністю конденсатора C7 та опором резистора R6. У ланцюги транзисторів VT3, VT4 підключена первинна обмотка трансформатора T1.

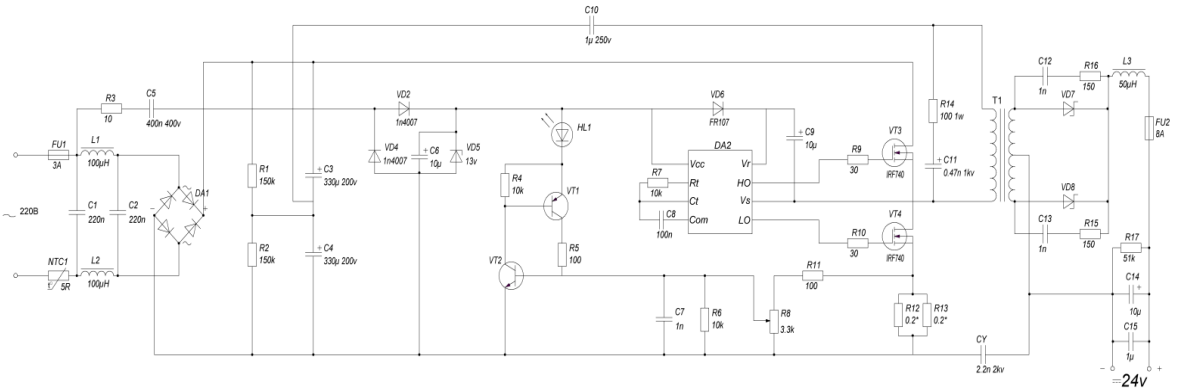


Рис. 2. Схема електрична принципова імпульсного блоку живлення на IR2153

Керуюча напруга на затвори цих транзисторів надходить з мікросхеми DA2 через резистори R8, R9.

Випрямлячі вихідної напруги виконані за двонапівперіодною схемою на діодах Шотткі VD5, VD6; пульсації згладжуються фільтром на дроселі L3, конденсаторах C14, C15. Резистори R2, R3, R17 використані для розрядження електролітичних конденсаторів C4, C5 та C14.

Y-конденсатор C13, підключений між мінусом високовольтної та низьковольтної частин, гасить електромагнітні перешкоди на вихідний обмотці блоку живлення.

Снаббери в обв'язці трансформатора C10, R14, C11, R15, C12, R16 призначені для зменшення пульсацій на виході блока живлення.

В імпульсному блоці живлення застосований ланцюг захисту за струмом. Струм захисту регулюється за допомогою підлаштування змінного резистора R8, підключенного до шунта на резисторах R12, R13, номінали яких змінюються в залежності від максимальної вихідної потужності. Чим вона більше, тим менший потрібен опір. Наприклад, для потужності до 150 Вт потрібні резистори на 0,3 Ом. Якщо потужність 300 Вт, то краще використовувати резистори на 0,2 Ом.

Висновки

В роботі запропоновано схему лабораторного імпульсного блоку живлення на мікросхемі IR2153 з можливістю перемикання напруги 12В на 30В. Схема має ряд переваг, а саме підвищення ККД схеми, схему захисту за струмом від короткого замикання.

Література

1. Блоки питания электронных устройств - устройство и принцип работы основных схем [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу : http://elektruk.info/main/praktika/643-bloki-pitaniya-elektronnyh-ustroystv.html.
2. Імпульсний блок живлення з регулятором напруги 1 … .32 V потужністю 200 W [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу : http://ua.nauchebe.net/2010/06/impulsnij-blok-zhivlennya-z-regulyatorom-naprugi-1-32-v-potuzhnistyu-200-w//.
3. Москатов Е. Методика и программа расчета импульсного трансформатора двухтактного преобразователя / Москатов Е. − Радио, 2006, № 6 − ст.35-37.
4. Области применения силовых источников питания [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу : http://www.power 2000.ru/apply_obl.html.
5. Регулювання та ремонт імпульсних джерел живлення [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу : http://radio-vtc.inf.ua/doc/less2_2.htm.
6. Що таке імпульсний блок живлення і чим він відрізняється від звичайного аналогового [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу.

УДК 621.311.6.001.24

Володимир Тромсюк, к.т.н.; Артем Метелиця
Вінницький технічний коледж, Україна

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КОНДЕНСАТОРІВ НА ЗАПУСК AC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Анотація: робота присвячена визначенню параметрів зовнішніх конденсаторів для отримання мінімального часу затримки запуску AC-DC перетворювачів. В роботі розглянуті основні співвідношення для визначення ємності зовнішніх конденсаторів, які забезпечать мінімальний час затримки.

Ключові слова: AC-DC перетворювач; конденсатор; DC-DC перетворювач, час затримки

Volodymyr Tromsyuk, Ph.D.; Artem Metelitsa

INFLUENCE OF CONDENSER PARAMETERS AT START OF AC-DC CONVERTERS

Annotation: The work is devoted to the determination of the parameters of external capacitors to obtain the minimum delay time for the launch of AC-DC converters. In this paper, the main relations for determining the capacitance of external capacitors considered which would provide a minimum delay time.

Keywords: AC-DC converter; capacitor; DC-DC converter; delay time.

Все більшого поширення набувають AC-DC перетворювачі, виконані в компактному корпусі, на різні потужності: від десятків ват до десятків кіловат. Це пояснюється їх високою надійністю та зручністю експлуатації. Особливістю таких перетворювачів є: високий ККД, який сягає 98%; використання інтегрованих електромагнітних фільтрів; екранування від високочастотного випромінювання імпульсного трансформатора. Робочі температури AC-DC перетворювачів знаходяться в межах від -40 до 100 градусів Цельсія. Всі ці параметри дозволяють використовувати такі модулі для живлення: базових станцій стільникового зв'язку, різного телекомунікаційного обладнання, тестового і вимірювального обладнання, промислової автоматики, офісної техніки та обладнання, комп'ютерної техніки та багатьох інших електронних пристроїв і систем [1-4].

На значення постійних часу запуску AC-DC перетворювачів впливають такі параметри конденсаторів [5-6]:

- допустиме відхилення ємності;
- зміна ємності від температури;
- змінний струм конденсатора (струм витоку).

В колах AC-DC перетворювачів найчастіше використовуються оксидні електролітичні конденсатори. Особливістю використання таких конденсаторів є імпульсна зміна струму в момент подачі напруги. Протягом перших секунд після подачі напруги струм витоку швидко зменшується, аж поки не набуде постійного значення. Для всіх груп конденсаторів, які використовуються в AC-DC перетворювачах, при підвищенні температури до +100 °C значення номінального струму витоку, зазвичай, збільшується в 5-10 разів. Експлуатація AC-DC перетворювачів при низьких температурах висуває вимоги до зміни ємності конденсатора від температури [6]. Зміна ємності зовнішніх конденсаторів при зміні температури в діапазоні від -40 до 100 °C не повинна перевищувати 10%. В іншому випадку будуть в значному діапазоні

змінюватися вихідні параметри AC-DC перетворювача, що негативно вплине на роботу приладів і систем, які забезпечуються живленням за допомогою таких перетворювачів.

Вибір конденсаторів для AC-DC перетворювачів, полягає в отриманні мінімального часу затримки запуску перетворювача і отримання мінімального струму витоку навіть при високих температурах роботи перетворювача. Для отримання максимально стійкої схеми використовують зовнішні конденсатори C1 і C2 (рис. 1). Ємності цих конденсаторів визначають час затримки запуску AC-DC перетворювача. Ємність конденсатора C1 знаходиться в межах 0.47 – 680 мкФ і визначається в залежності від значення вхідної змінної напруги U_{AC_in}.

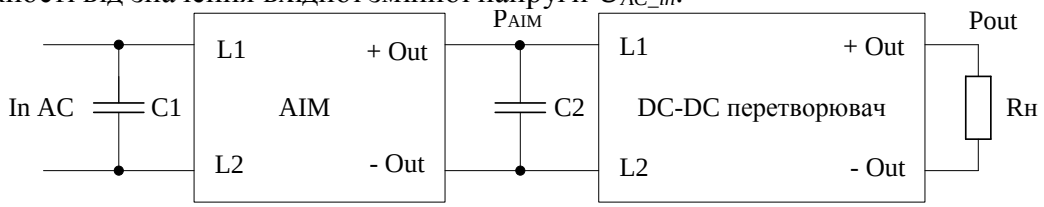


Рис. 1. Блок схема AC-DC перетворювача (AIM – Alternating Input Module)

Час затримки запуску AC-DC перетворювача визначається як інтервал часу від моменту виключення змінної напруги (T4) до моменту, коли DC-DC перетворювач починає виходити з режиму регулювання (T5), див. рисунок 2. Час затримки пуску є функцією напруги зарядки ємності конденсатора від вихідного навантаження і тієї точки на хвилі змінного струму, де конденсатор знову починає заряджатися. Наприклад, якщо змінний струм вимкнути тільки після перезарядки конденсаторів, то час утримання буде набагато більшим (T3-T5), ніж якщо б мережа змінного струму не спрацювала лише перед іншою перезарядкою (T4 - T5).

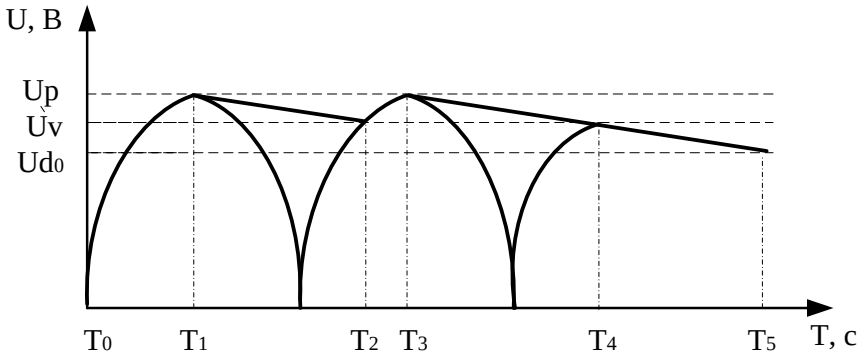


Рис. 2. Часові діаграми перетворення змінного струму

Визначення часу затримки запуску AC-DC перетворювача визначається із рівняння:

$$\frac{1}{2}C2\cdot U_p^2-\frac{1}{2}C2\cdot U_{do}^2=P_{AIM}\cdot(T_5-T_3), \qquad (1)$$

де U_p – максимальне амплітудне значення $U_p = \sqrt{2} * U_{AC_in}$); U_{do} – амплітуда розрядки конденсатора після вимкнення змінної напруги, коли DC-DC перетворювач виходить із режиму регулювання; T_5 - T_3 – часовий інтервал розрядки конденсатора після вимкнення джерела змінної напруги; P_{AIM} – вихідна потужність AIM.

Часові параметри роботи AC-DC перетворювача:

- T0 – початок роботи перетворювача;
- T1 – пік випрямленого значення змінного струму або точка, в якій C2 повністю заряджений;

- Т2 – найнижча точка випрямленого значення змінного струму в нормальних робочих умовах і точка, в якій С2 збирається «перезаряджатися». Це точка найменшої енергії в конденсаторі С2;
- Т4 – найнижча точка випрямленого значення змінного струму; точка найменшої енергії в С2; точка, в якій, якщо лінія змінного струму виходить з ладу, час утримання є найкоротшим, тобто "найгіршим випадком";
- Т5 – час, коли перетворювач виходить з режиму регулювання;
- Т5 - Т4 – мінімальний час утримання. Фактичний час утримання може змінюватися до максимуму Т5 - Т3;
- (Т3 - Т1) * 2 = один цикл роботи конденсатора С2

З рівняння (1) можна знайти ємність конденсатора С2:

$$C2 = 2 \cdot \frac{P_{AIM} \cdot (T5 - T3)}{U_p^2 - U_{do}^2} \qquad (2)$$

Вхідна потужність перетворювача під час нормальної роботи подається від мережі змінного струму протягом часу провідності випрямлячів (Т2-Т3), які вбудовані в АІМ, і енергією, що зберігається в С2, коли випрямлячі в АІМ мають зворотне зміщення (Т1 - Т2). У разі вимкнення джерела змінного струму (Т4), конденсатор С2 повинен продовжувати надавати енергію DC-DC перетворювачу до ввімкнення змінного струму або виходу перетворювача із режиму регулювання (Т5). З рівняння (2) видно, що при зростанні вхідної потужності, необхідно збільшувати ємність зовнішнього конденсатора С2, а це значить, що схема буде менш чутливою до зміни ємності в залежності від зміни температури навколишнього середовища.

Висновки: В результаті проведеного дослідження визначено, що при збільшенні потужності джерела запуск перетворювача стає менш чутливий до зміни параметрів конденсаторів. При малопотужному джерелі змінної напруги найбільший вплив на характер і час пуску AC-DC перетворювача надають відхилення ємностей С1, С2 від їх номінального значення.

Література

1. Обрусник В. П., Шадрин Г. А. Стабилизированные источники питания радиоэлектронных устройств. Томск: Изд-во ТУСУРа, 2011. 280 с.
2. Маниктала Санджай. Импульсные источники питания от А до Z. СПб.: Корона-Век, 2014. - 256 с.
3. Захарченко М. В., Кадацький А. Ф., Русу О.П., Малявін І.П., Русаловський В. Б., Грабовий О. А. Електроживлення систем зв'язку. Лабораторний практикум: Частина 1: Теоретичні положення; Частина 2: Методичні вказівки. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2011. - 312 с.
4. Kychak V., Tromsyuk V. Calculation of parameters of errors in radioelectronic and telecommunication systems. Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування. (VI Міжнародна науково-технічна конференція). Вінниця. ВНТУ. 2017. - С. 76-77.
5. ТРИФОНОВ Олег. AC/DC и DC/DCC преобразователи швейцарской компании FABRIMEX AG. Компоненты и технологии. № 1. 2008. С. 129-132.
6. Неяскин Константин. Регулировка параметров AC/DC-преобразователей Mean Well и удаленное управление ими. Компоненты и технологии. - 2017. - № 6. - С. 10-12.

УДК 621.373.1

Сергій Цирульник, к.т.н., доц., Валентина Вернигора, Василь Ткачук
Вінницький технічний коледж, Україна

ЛАБОРАТОРНИЙ МАКЕТ «ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ»

Розглянуто практичні підходи до реалізації лабораторного макету імпульсного блоку живлення на основі спеціалізованої мікросхеми UC3843. Наводиться практична схема лабораторного макету та особливості функціонування його складових частин.

Ключові слова: імпульсний блок живлення, лабораторний макет, широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), ШІМ-контролер.

Serhii Tsyrulnyk, Valentyna Vernyhora, Vasyl Tkachuk

LABORATORY MODEL «PULSE POWER UNIT»

The practical approaches to the implementation of the laboratory model of the pulse power unit on the basis of the specialized chip UC3843 are considered. The practical layout of the laboratory model and features of the functioning of its component parts are presented.

Keywords: pulse power supply, laboratory model, pulse-width modulation (PWM), PWM-controller.

Вступ. Спеціалізовані лабораторії вищих навчальних закладів вимагають застосування новітніх лабораторних макетів під час освітнього процесу. Застосування лабораторних макетів, які є в наявності, не актуально через застарілу елементну базу та не відповідність сучасним вимогам схемотехніки імпульсних джерел живлення для професійної підготовки фахівців зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Покращити ситуацію можна двома способами. По-перше, можна придбати нові імпульсні джерела живлення та зробити з них лабораторні макети, але це залежить від фінансових можливостей навчального закладу. Другим способом є розробка та виготовлення лабораторних макетів на сучасній елементній базі власними силами.

У статті розглядаються питання практичної реалізації імпульсного блоку живлення у вигляді функціонально-завершеного лабораторного макету, який виконала команда Вінницького технічного коледжу для участі в творчому конкурсі IX Всеукраїнської олімпіади з радіоелектроніки.

Постановка завдання. Розробити та практично виготовити лабораторний макет «Імпульсний блок живлення» з параметрами: номінальна вихідна напруга 12В + 2%; номінальний вихідний струм, не менше 1А; навантаження – лампа, що входить до складу лабораторного макету; передбачена можливість підключення LED стрічки (1м) та лампи 220В×60Вт замість запобіжника; контрольні точки для дослідження: напруга на виході мережного випрямляча, колектор/стік ключового транзистора, вихід ШІМ, напруга запуска ШІМ, напруга живлення ШІМ, напруга кола зворотного зв'язку, вихідна напруга; імпульсний трансформатор розрахований та виготовлений учасниками олімпіади).

Основна частина. Зворотньоходові ІБЖ найчастіше використовують як малопотужні та середньої потужності (до 150 Вт), тому що вони дешеві та містять малу кількість компонентів. Мікросхема UC3843 [1, 2, 3] призначена для побудови на її основі стабілізованих імпульсних блоків живлення з ШІМ. Оскільки потужність вихідного каскаду мікросхеми (ІМС) порівняно невелика, а амплітуда вихідного сигналу може досягати напруги живлення мікросхеми, то як ключ спільно з мікросхемою застосовується n-канальний МОН транзистор. На рис. 1 представлена

схема лабораторного макету.

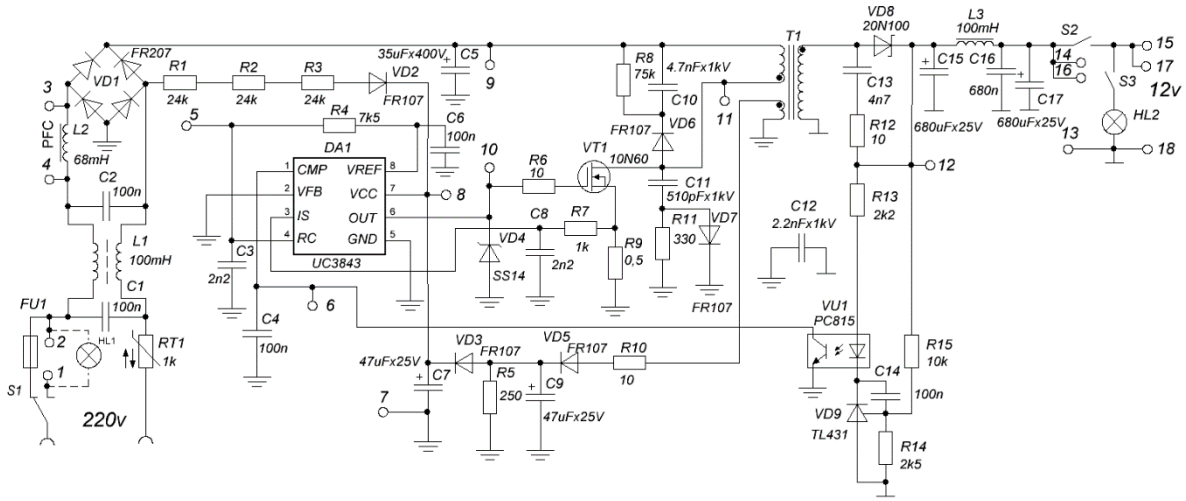


Рис. 1. Схема лабораторного макету «Імпульсний блок живлення»

За типовою схемою ІБЖ, що пропонує виробник ІМС, блок живлення розрахований на напругу мережі 115 В. Його з мінімальними доопрацюванням можна використати в мережі з напругою 220 В, потрібно лише: замінити діодний міст VD1, включений на вході джерела живлення на аналогічний, але із зворотною напругою 400 В; замінити електролітичний конденсатор фільтру живлення С5, включений після діодного моста, на аналогічний за ємністю, але з робочою напругою 400 В; збільшити номінал резисторів R1-R3 до 75–80 кОм; перевірити VT1 на допустиму напругу стік-витік, яка повинна складати не менше 600 В. Транзистор ключового каскаду повинний мати низький опір у відкритому стані та низький сумарний заряд перемикання. Рекомендується використовувати транзистор IRFZ24N або 10N60.

Мікросхема має деякі особливості, пов'язані з її живленням. У перший момент після включення джерела живлення в мережу внутрішній генератор ще не працює, і в цьому режимі вона споживає від кола живлення дуже маленький струм. Для живлення ІМС, що знаходиться в цьому режимі, досить напруги, що отримується з резисторів R1-R3 та накопиченого на конденсаторі С7. Коли напруга досягає значення 12-18 В, запускається генератор ІМС, і вона починає формувати на виході імпульси управління транзистором VT1. На вторинних обмотках трансформатора Т1, у тому числі і на обмотці 3-4, з'являється напруга. Ця напруга випрямляється імпульсним діодом VD5, фільтрується конденсатором С9, через діод VD3 подається в коло живлення ІМС. Після того, як ІМС увійшла до робочого режиму, вона починає відстежувати зміни напруги, яка через VU1 подається на вхід зворотного зв'язку VFB. Стабілізуючи власну напругу живлення, ІМС фактично стабілізує і усю іншу напругу, що знімається з вторинних обмоток імпульсного трансформатора.

Обов'язковою умовою роботи ШІМ-контролера серії UC384X-поріг напруги живлення. Для UC3843 мінімальна порогова напруга (OFF) - 7,6В (UC3843 перестає працювати), а максимальне граничне (ON) - 8,4В (UC3843 включається). Завдяки петлі гістерезису (0,8) домагаються стабільності роботи ШІМ-контролера при невеликих пульсаціях на вході, виключаючи помилкові спрацьовування.

У мікросхеми UC3843 внутрішній генератор реалізований так. Спочатку конденсатор С3 повільно заряджається через резистор R4 від опорного напруги, а потім швидко розряджається внутрішнім ключем з фіксованим струмом розряду (8,3 mA). Час розряду конденсатора через внутрішній ключ визначає «мертвий» час - коли силовий ключ завжди закритий. Відповідно, змінюючи величини R4 та С3 можна не тільки задавати частоту перетворення, а й максимальне значення робочого ходу.

Рекомендується отримати якомога менший «мертвий» час, що б максимально наблизити коефіцієнт заповнення D до 50%. Практично частота вибирається в діапазоні 35–85 кГц і визначається C3R4.

Для отримання 50% робочого циклу використовується тільки кожний другий такт. На вхід COMP подається напруга зворотного зв'язку з оптрону VU1 який, забезпечує розв'язку первинної ланки з виходом блоку живлення. При відсутності напруги зворотного зв'язку на виході оптрону ШІМ контролер не запускається, так спрацьовує умова блокування мікросхеми ШІМ контролера. Коли напруга на виході блоку живлення, вище 12В, відкривається транзистор оптопари, що викликано світінням світлодіоду, в цей момент зменшується напруга на виводі 1 (COMP) ІМС, що приводить до зменшення тривалості імпульсів і як наслідок зменшення вихідної напруги ІБЖ.

При вмиканні блоку живлення в початковий момент часу через діодний міст протікає максимальний зарядний струм конденсатора C5, й цим струмом можуть бути виведені з ладу діоди випрямляча. Для обмеження зарядного струму конденсатора C5 в схему вводять терморезистор RT1 з від'ємним ТКС (NTC). Так як у холодному стані опір терморезистору складає 1кОм, струм через VD1 обмежується на безпечному рівні. Через деякий проміжок часу RT1 нагрівається, його опір зменшується до нуля та він більше не вливає на роботу схеми.

Імпульсні блоки живлення, незалежно від типу ШІМ, повинні мати схеми подавлення вхідної несиметричної та вхідної симетричної завади. Несиметрична завада це напруга завади між фазою та нулем. Ефективне подавлення несиметричної завади здійснюється конденсаторами типу X (C1, C2), які мають високу якість та малий ESR.

Симетрична завада подавлюється за допомогою котушки індуктивності L1 з двома обмотками, що мають однакове число витків. Вона має високий опір для симетричного струму та практично нульовий для несиметричного.

Високочастотні імпульси проникають зі стоку транзистора на вторинну обмотку через паразитну ємність. Таким чином, на виході блоку живлення присутні пульсації з частотою блоку живлення відносно заземлення та обох мережних проводів. Для подавлення власних імпульсних завад в схему вводиться конденсатор C12. Конденсатор C12 зв'язує мережу з виходом блоку живлення, що небезпечно. Тому він є типу Y (призначений для роботи там, де вихід їх з ладу загрожує життю людей).

Важливе значення має конструкція імпульсного трансформатора. Розрахунок параметрів трансформатора проводився програмою Flyback-Lite [5]. Результати розрахунку: первинна обмотка має 62 витки проводу діаметром 0,335×1 (одно жильний провід), вторинна обмотка має 5 витків 0,5×2 (двох жильний провід), обмотка живлення ІМС має 5 витків 0,5×1 (одно жильний провід). Первинну обмотку розбивають на дві рівні секції, одна з яких намотується в перших шарах котушки, а друга – в останніх. Перерахованих заходів, як правило, виявляється достатньо, тому в побутовій апаратурі ІБЖ зазвичай застосовуються без екранувального кожуху.

Пасивна корекція коефіцієнта потужності використовується для готових (спроектованих раніше) пристроїв. Вона передбачає підключення на вході навантаження дроселя фільтру. PFC-дросель затягує фронт імпульсу вхідного струму, знижуючи при цьому його амплітуду. Відповідно, знижується рівень вищих гармонік струму, а також реактивна потужність, а коефіцієнт потужності підвищується. PFC-дросель (L2) встановлюють на вході ІДЖ, до випрямного моста, згідно з рис. 1, але після дроселя L1. У практичних схемах рекомендується використовувати PFC-дроселі з $L \geq 40$ мГн.

На рисунку 2 наведена конструкція лабораторного блоку живлення, схемотехнічні особливості якого розглядались у даній статті.

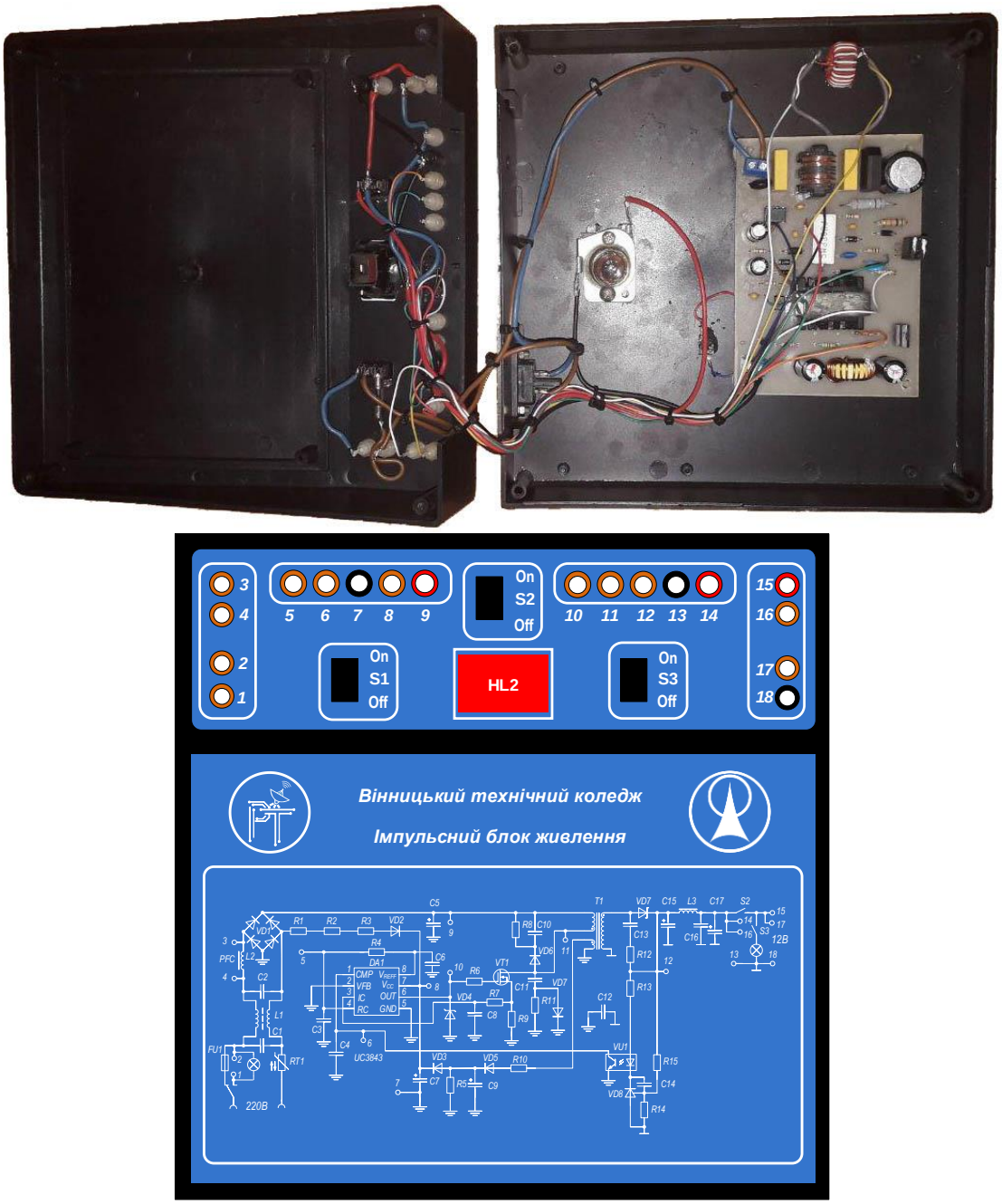


Рис. 2. Конструкція лабораторного блоку живлення

Література

1. Ремонт блока питания D-Link (UC3843B). URL: https://zipstore.ru/blog/remont-bloka-pitaniya-d-link-uc3843b/.
2. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование. К.: «МК-Пресс», 2007. 288 с.
3. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. М.: Издательский дом «Додэка-XXI». - 2001. - 608 с.
4. Расчет частоты UC3842/45 (Версия 4.1). URL: http://cxem.net/software/soft_calc.php
5. Flyback-Lite – Программа расчета трансформатора обратного ходового преобразователя (Версия 2.11). URL: http://cxem.net/software/soft_calc.php

Секція: БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

Керівник: доц. Євгенія Яворська

УДК 615.8

Дмитро Вакуленко, д. біол. н., проф., Олена Гевко, к.м.н., доц., Людмила Вакуленко, к.м.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВПЛИВ ПРИРОДНІХ ЗВУКІВ НА МОРФОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АРТЕРІАЛЬНОЇ ОСЦИЛОГРАМИ

Проведено дослідження ефективності впливу шуму перетікання води у вигляді перегляду та прослуховування мультимедійної композиції «Вода» на осцилографічні параметри. При морфологічному аналізі осцилограм виявлено достовірні зміни: зниження показника М1 і підвищення М2 та М3. Ці дані свідчать про позитивну динаміку, під впливом мультимедійної композиції, стану гладко-м'язових клітин на початку компресії, що потребує проведення подальшого аналізу осцилограм, зокрема часового та спектрального.

Ключові слова: морфологічний аналіз артеріальних осцилограм, звуки природи, вплив мультимедійною композицією, прослуховування звуків природи.

Dmytro Vakulenko DSc, Olena Hevko PhD, Ludmyla Vakulenko PhD

THE EFFECT OF NATURAL SOUNDS ON THE MORPHOLOGICAL INDICATORS OF ARTERIAL OSCILLOGRAM

The effectiveness of the impact of water noise in the form of viewing and listening to the multimedia composition "Water" on oscillographic parameters was investigated. Significant changes were found in the morphological analysis of arterial oscillograms.

Keywords: morphological analysis of arterial oscillograms, sounds of nature, multimedia simulation, listening to nature sounds.

Сучасний ритм праці, тривале емоційне, розумове перенапруження вимагають нових підходів до організації робочого місця офісних працівників з урахуванням їхнього самопочуття та емоційного стану. Все більше привертає уваги застосування благоприємного впливу природніх звуків (дзюрчання струмків, шум океану, щебет птахів) на організм людини.

Про цілющі властивості і вплив на психоемоційний стан природніх звуків, відомо ще з древніх трактатів. Проте, не менш помітна зацікавленість до наукових праць в цьому напрямку, існує й сьогодні. Так, вчені з Політехнічного інституту Ренсселера (США) [4], які вивчали вплив природних звуків на офісних співробітників, встановили, що шум води в гірському потічку поліпшував настрій і підвищував когнітивні здібності службовців, що сприяло підвищенню продуктивності їхньої праці. Інші науковці [2] довели, що прослуховування природніх звуків покращує функціональні резерви апарату регуляції серця. В недостатній мірі вивчені дані про вплив прослуховування природніх звуків на стан інших органів і систем, зокрема, периферичні судини. На сьогоднішній день досить перспективним неінвазивним методом оцінки стану судин вважається об'ємна компресійна осцилометрія, що дозволяє за допомогою стискаючої манжети і комп'ютерної обробки даних, визначати ряд параметрів [1] як центральної, так і периферичної гемодинаміки.

Метою нашої роботи було вивчення впливу шуму перетікання води в струмку, на морфологічні показники артеріальної осцилограми. Обстежено сімдесят практично

здорових людей (студенти ТНТУ ім.Пулюя та ТДМУ ім. І.Я. Горбачевського м.Тернополя, Україна), віком – 19-23 років (юнаки та дівчата). Досліджували вплив шуму перетікання води у вигляді перегляду та прослуховування впродовж 5-ти хвилин мультимедійної композиції «Вода». Для реєстрації артеріальних осцилограм вимірювали артеріальний тиск за допомогою електронного вимірювача артеріального тиску ВАТ 41-2 (виробник «ІКСТЕХНО»), в період зростання компресії. Подальший їх аналіз проводили з допомогою спеціальних комп'ютерних програм [3].

Результати дослідження були розділені на дві групи. В першу групу входили показники, відібрані у стані спокою (вихідному стані), без будь-яких сторонніх впливів. До другої групи увійшли показники, відібрані після п'ятихвилинного перегляду мультимедійної композиції «Вода».

Для морфологічного аналізу осцилограм використано 9 критеріїв. До даних показників відносять: М1 - якість адаптації (на початку компресії); М2 - якість адаптації (протягом усієї компресії); М3 - порушення ритмічності (кількісна оцінка порушення ритмічності пульсацій); М4 - еластичність судин (кількість максимальних за амплітудою осциляцій); М5 - тонус судин (форма верхніх екстремумів осциляцій на початку компресії); М6 – реакція посмугованої мускулатури на компресію - тонус м'язів (оцінка осцилограми за наявністю дрібних осциляцій); М7 - рівень збудливості (оцінка за амплітудою, кількістю та наявністю екстремальних (з нерівномірним збільшенням амплітуд) осциляцій; М8 - оцінка динаміки зміни площі висхідної частини осциляцій; М9 - оцінка динаміки зміни площі нисхідної частини осциляцій [1].

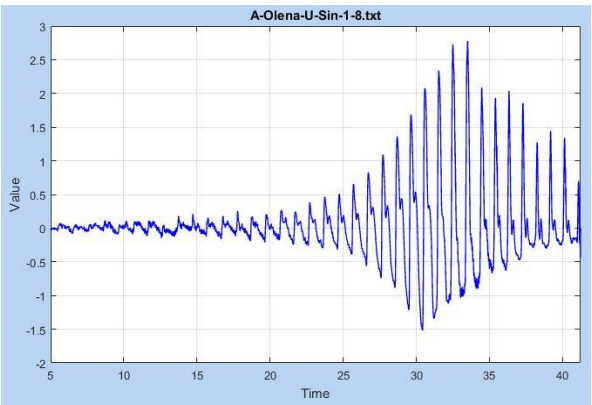
Після даного перегляду мультимедійної композиції «Вода» виявлено неоднозначні зміни осцилометричних показників. Так, у вихідному стані М1 (табл.1) становив (3,14+0,422), після перегляду достовірно зменшився на 28 % і склав (2,26+0,109), що свідчило про позитивний вплив відеозображень зі звуками перетікання води в струмку. Даний показник характеризує стан гладко-м'язових клітин, активацію ендотелію, що регулює судинний тонус. Проте, достовірно збільшився показник М2 з (1,72+0,183) до (3,02+0,339), що вказувало на погіршення якості адаптації під час компресії, тобто пригнічення нервово-рефлекторних механізмів адаптації. Аналогічні зміни стосувались і показника М3 - з (1,14+0,086) до (4,24+0,236). Інші морфологічні показники залишились інтактними.

Таблиця1

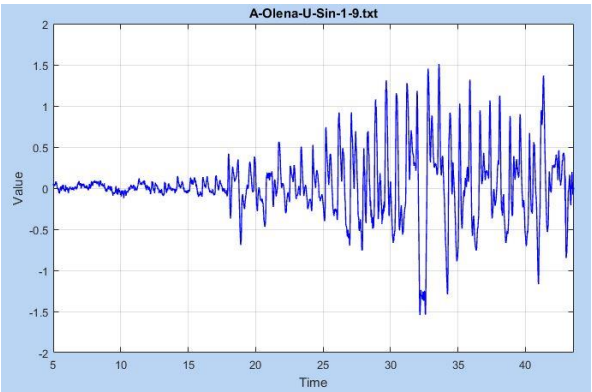
Динаміка морфологічного аналізу осцилографічних параметрів під впливом мультимедійної симуляції «Води»

	Вихідний стан	Вплив «Води»	
		показник	%
М1	3.14+0.422	2.26+0.109*	-28
М2	1.72+0.183	3.02+0.339*	+43
М3	1.14+0.086	4.24+0.236*	+27
М4	2.18+0.338	2.46+0.297	+11
М5	1.47+0.016	1.428+0.056	-3
М6	2.81+0.381	2.53+0.194	-10
М7	1.05+0.033	1.078+0.040	+3
М8	5.76+0.351	5.84+0.262	+1
М9	4.575+0.145	4.565+0.222	-0,2

Вплив перегляду мультимедійної композиції «Вода» на параметри артеріальної осцилограми подано на рисунку 1.



а



б

Рис. 1. Артеріальні осцилограми студента N під впливом перегляду мультимедійної композиції «Вода»:

А. Вихідний стан.

Б. Після прослуховування мультимедійної композиції.

Отже, перегляд композиції перетікання води в струмку чинить вплив на осцилографічні показники. Причім достовірно змінився стан гладко-м'язових клітин, активувався ендотелій ще на початку компресії (зменшення М1), проте погіршилась якість адаптації під час компресії (збільшення М2), збільшилась кількісна оцінка ритмічності пульсацій (М3). Тому перспективним залишається подальше вивчення впливу мультимедійних композицій на показники артеріальної осцилограми.

Література

1. Вакуленко Д. В. Інформаційна система морфологічного, часового, частотного та кореляційного аналізу артеріальних осцилограм у фізичній реабілітації: монографія / Д. В. Вакуленко. – Тернопіль : ТДМУ, 2015. – 212 с
2. Козачук И. В. Эффекты аудиостимуляции в виде звуков природы на регуляцию сердечного ритма / И. В. Козачук, И. А. Кириллова // Вестник Тамбовского университета. – 2012. – Т. 17, №. 4. – С. 1270-1272.
3. Martsenyuk V, Vakulenko D, Vakulenko L, Kłos-Witkowska A, Kutakova O. Information System of Arterial Oscillography for Primary Diagnostics of Cardiovascular Diseases. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 17th International Conference, CISIM 2018; 2018 Sep 27-29; Olomouc, Czech Republic. Berlin: Springer; 2018. - P. 46-56.
4. https://www.huffpost.com/entry/productivity-tips-nature_n_7314216

УДК 004.021

Олег В'юницький, Вячеслав Шульгін, проф., Олександр Тоцький, проф., Валерій Шаронов, доц.
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

АНАЛІЗ СЕРЦЕВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПЛОДУ У ХОДІ ВАГІТНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІСПЕКТРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ АБДОМІНАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

Для виявлення серцевої діяльності плоду запропоновано методику оцінки спектру третього порядку, що називається методикою оцінки біспектру сигналу. Для виділення серцевої діяльності плоду пропонується новий клас інформаційних ознак, що оцінюється у вигляді фазово-зв'язаних внесків, які містяться в абдомінальних сигналах, зареєстрованих на материнській черевній поверхні. Експериментальна верифікація запропонованого підходу виконана для абдомінальних сигналів, записаних у реальних людей з вкладами завад. Вклади серцевої діяльності плоду, виділені у біспектральній площині шляхом обчислення оцінок амплітудного біспектру, вказують на фазовий зв'язок між деякими спектральними компонентами, що містяться в абдомінальних сигналах. Проведено аналіз абдомінальних сигналів за допомогою запропонованого методу для пацієнтів, у яких було виявлено гіпоксію плоду. Отримані результати демонструють ефективне придушення інтерференції, що забезпечується за допомогою стратегії обробки сигналів на основі біспектру, та можливість виявлення гіпоксії плоду на раніх стадіях.

Ключові слова: біомедичні сигнали, серцева діяльність плода, ЕКГ плода, абдомінальний сигнал, біспектр, оцінка біспектру, QRS комплекс, гіпоксія плода.

Oleh Viunytskyi, Vyacheslav Shulgin, Alexander Totsky, Valery Sharonov.

ANALYSIS OF THE FETAL HEART ACTIVITY DURING PREGNANCY BY BISPECTRUM-BASED ABDOMINAL SIGNAL PROCESSING

A method for extraction fetal ECG contribution from abdominal signals and finding information features for detection of fetal hypoxia by bispectrum-based signal processing has been proposed.

Keywords: fetal heart activity, fetal ECG, abdominal signal, bispectrum, QRS complex.

Сьогодні діагностичні системи, призначені для охорони здоров'я дорослих і дітей, активно розвиваються і вдосконалюються. Разом з тим, досягнення в області діагностики функціонального стану плода у ході вагітності залишаються на досить низькому рівні. Тому розробка нових методів пренатальної діагностики вкрай важлива, оскільки здоров'я людини в майбутньому формується безпосередньо під час вагітності [1] і своєчасне виявлення захворювань може дозволити уникнути великої кількості смертей новонароджених дітей.

Відомо, що характер серцевого ритму плода є чітким показником його функціонального стану [2]. На сьогоднішній день основним методом дослідження серцевої діяльності плода є ехокардіографія [2], [3]. Однак, ця методика може бути виконана тільки в умовах лікарні. Набагато більш доступною є ультразвукова кардіотокографія (КТГ) та неінвазивна електрокардіографія плода (NI-FECG) [4] - [6]. З метою підвищення інтерференційної завадостійкості діагностичної системи для дослідження серцевої діяльності плода, ми пропонуємо використовувати підхід обробки абдомінальних сигналів на основі біспектру, описаний в [7].

Спектр третього порядку або біспектр, на відміну від загального енергетичного спектру, дозволяє не тільки правильно описувати статистичні властивості досліджуваного сигналу, але й вилучати нові інформаційні ознаки у вигляді внесків, обумовлених кореляційними зв'язками та фазовими зв'язками спектральних компонент сигналу. У біспектральній області всі інтерференційні внески з симетричною формою розподілу випадкової величини будуть видалені. В той же час, внесок у площину третього порядку, викликаний сигналами ЕКГ, зберігається, оскільки вони мають несиметричні форми розподілу випадкової величини та містять квадратичні та кубічні нелінійності [8]. Метою даної роботи є пропозиція нової методики для аналізу абдомінальних сигналів, яка дозволить використовувати фазово-частотні кореляційні відносини, що містяться в сигналі, необхідних для аналізу ЕКГ плода. Зауважимо, що зареєстрований абдомінальний сигнал містить численні внески артефактів, такі як інтерференція ліній зв'язку, висока амплітуда материнської ЕКГ в абдомінальному сигналі, рухи плоду в утробі, артефакти накладання електродів і електронний шум підсилювача.

У таких умовах ми пропонуємо використовувати біспектральную стратегію для обробки абдомінальних сигналів та виявлення в них внесків скорочень серця плода. Це робить можливим вилучення лише внесків тих спектральних компонентів сигналу, які є фазово-зв'язаними. Решта некорельованих спектральних складових, що належать до інтерференції, будуть зникати за рахунок особливостей біспектру [7].

Оцінку біспектру $\hat{B}_i(f_1, f_2)$, розраховану для деякого довільного і-го короткочасного інтервалу, можна записати як:

$$\hat{B}_i(f_1, f_2) = \hat{S}_i(f_1)\hat{S}_i(f_2)\hat{S}_i^*(f_1 + f_2) \quad (1)$$

де $\hat{S}_i(\dots)$ – перетворення Фур'є, обчислене для сигналу за допомогою ковзного вікна; f_1, f_2 і f_3 – частоти, що містяться в багатокомпонентному абдомінальному сигналі.

Комплексну оцінку біспектру, визначену у вигляді (1), можна виразити як:

$$\hat{B}_i(f_1, f_2) = \left|\hat{B}_i(f_1, f_2)\right| exp[j\hat{\varphi}(f_1, f_2)] \quad (2)$$

де $\left|\hat{B}_i(f_1, f_2)\right|$ – оцінка амплітудного біспектру; $\hat{\varphi}(f_1, f_2)$ – оцінка фазового біспекстру; $j = \sqrt{-1}$.

Для того, щоб отримати згладжений біспектр, оціночну процедуру усереднення по ансамблю необхідно виконати у вигляді:

$$\hat{B}(f_1, f_2) =< \hat{B}_i(f_1, f_2) >_{\mathrm{I}} , \quad (3)$$

де $<\dots>_{\mathrm{I}}$ позначає процедуру усереднення по ансамблю, виконану за i = 1,…,I короткочасних реалізацій абдомінального сигналу.

Після когерентного накопичення, виконаного згідно з (3), середня оцінка біспектру по ансамблю служить для вилучення внесків серцевої діяльності плоду. Високий рівень значення в (3) вказує на фазовий зв'язок для частот f_1, f_2 і $f_1 + f_2$. Це може вказувати на те, що частоти f_1 і f_2 мають спільний «генератор», яким виступає серце плода, або що створюється нове коливання з частотою, що дорівнює $f_1 + f_2$ за рахунок нелінійного взаємодії між коливаннями з частотами, рівними f_1 та f_2, якими виступають серце плода та серце вагітної жінки.

Декілька із типових абдомінальних записів, виконаних системою BabyCard [9], були обрані для дослідження з використанням запропонованого підходу. Більш

детальну інформацію про систему і параметри сигналу можна прочитати за посиланням [9] - [10]. Частота дискретизації сигналу становить 1000 Гц. Сигнали в роботі задаються у відносних значеннях без посилання на частоту дискретизації і амплітуду сигналів у мВ.

З метою мінімізації внеску материнської ЕКГ в оцінку біспектру абдомінального сигналу, сигнали розподілялися на окремі фрагменти від початку QRS комплексу материнської ЕКГ до початку наступного. Для вилучення інформації про наявність фетальних QRS комплексів, що містяться в отриманому фрагменті сигналу, останній фрагмент повинен бути розділений на чотири сегменти. Приклад фрагмента абдомінального сигналу в одному каналі, де чотири сегменти позначені як I, II, III і IV та позначені чотирма перпендикулярними лініями, показаний на рисунку 1.

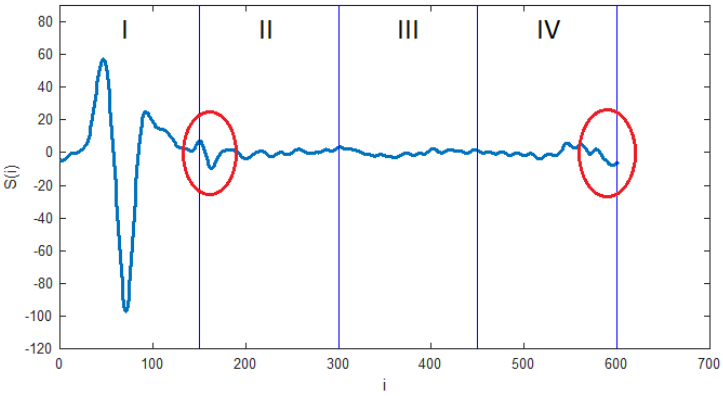
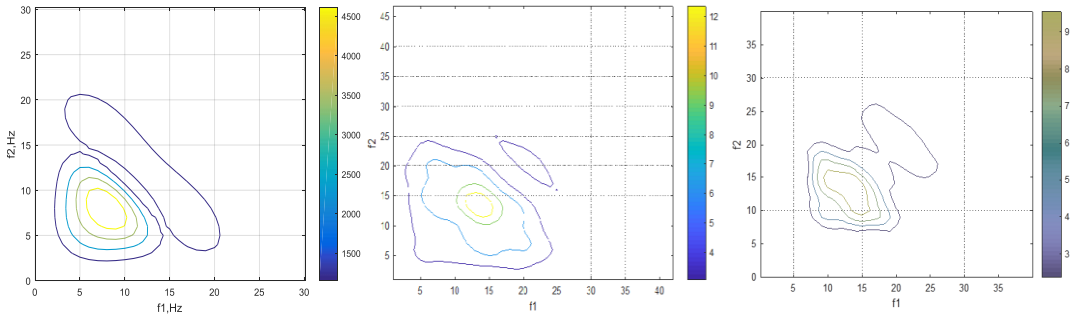


Рис. 1. Фрагмент абдомінального сигналу в одному каналі розділений на чотири сегменти

Вклади серцевої діяльності плода відзначені двома кольоровими овалами, розташованими в межах сигнального фрагмента. З рисунку 1 видно, що перше скорочення серця розташоване безпосередньо на межі першого і другого сегментів сигналу. Друге скорочення серця плода знаходиться в четвертому сегменті. Для кожного сегменту розраховується величина біспектру (1), після чого відбувається усереднення біспектрів усіх сегментів (3) впродовж всього запису сигналу, результатом якого є одна усереднена матриця біспектру. Оскільки сигнали реєструються у шести відведеннях, то після усереднення (3) результатом виконання є шість матриць біспектру. Наступним кроком – є усереднення шести усереднених біспектрів для кожного із шести каналів між собою. На рисунку 2 показані усереднені біспектри для здорового плода (а), для того самого плода з ймовірною наявністю гіпоксії (б), та для того самого плода з точною наявністю гіпоксії (в).



а б в

Рис. 2. Приклади усереднених біспектрів для одного і того самого плода без гіпоксії (а), з ймовірною гіпоксією (б), та з гіпоксією (в).

Сигнали реєструвались на різному етапі вагітності однієї жінки, а результат наявності гіпоксії був установлений лікарем. З рисунку 2 видно, що при початковому прояві гіпоксії (б), відбувається зміщення максимуму амплітудного біспектру. На рисунку 2,(а) максимум знаходиться на частоті

8 Гц, а на рисунку 2,(б) він змістився на частоту 14 Гц, на рисунку 2,(в) максимум амплітудного біспектру змістився на частоту 15 Гц. На частоті 20…25 Гц з'являється нова спектральна компонента. Таким чином, поява нової спектральної компоненти на частоті 20…25 Гц, а також зміщення максимуму амплітудного біспектру з частот 6…10 Гц на частоти 14…16 Гц може вказувати на наявність гіпоксії плоду. Аналіз проводився на 60 пацієнтах, в яких було встановлено наявність гіпоксії плоду. Для 3 пацієнтів є декілька записів, де гіпоксія плоду була відсутня, а потім проявилась – приклад амплітудних біспектрів для такого запису був показаний на рисунку 2. Для інших пацієнтів записи були вже із наявністю гіпоксії, проте максимум амплітудного біспектру для таких записів також знаходився на частоті 14…16 Гц, а на частотах 20…25 Гц була присутня додаткова спектральна компонента.

Література

1. M.T. Donofrio, A.J. Moon-Grady, L.K. Hornberger et. al.,"Diagnosis and treatment of fetal cardiac disease", Scientific Statement From the American Heart Association Circulation., 2014;129, pp. 2183–2242.

2. S. Srinivasan, J. Strasburger, "Overview of fetal arrhythmias", Curr. Opin. Pediatr., 2008, 20(5), pp. 522–531.

3. Wacker-Gussmann, H. Paulsen, K. Stingl, J. Braendle, R. Goelz, "Atrioventricular conduction delay in the second trimester measured by fetal magnetocardiography", Journal of Immunology Research, Published online 2014, Jan 16.

4. J. Behar, "Extraction of clinical information from the non-invasive fetal electrocardiogram", A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy Michaelmas, 2014, 233 p.

5. J. Behar, T. Zhu, J. Oster, R. Sameni, A.J.Wolfberg, G.D.Clifford, "Evaluation of the fetal QT interval using non-invasive fetal ECG technology", Institute of Physics and Engineering in Medicine, Printed in the UK Physiol. Meas., 37, 2016, pp. 1392–1403.

6. E. Graatsma, B. Jacod, L. van Egmond, E. Mulder, G. Visser,"Fetal electrocardiography: feasibility of long-term fetal heart rate recordings", BJOG, 2009, 116, pp. 334–338.

7. Alexander V. Totsky, Alexander A. Zelensky, Victor F. Kravchenko, Bispectral Methods of Signal Processing, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Munich/Boston, 2015, 199p.

8. M. Rizk, M. et al. "Higher-order ambulatory electrocardiogram Identification and motion artefact suppression with adaptive second- and third-order volterra filters," SPIE '98, Adv. Sign. Proc. Algorithms, Arch. & Implementations VIII vol. 3461, USA, 19-24 July, pp. 417-431.

9. O. Viunytskyi, V. Shulgin, "Signal Processing Techniques for Fetal Electrocardiogram Extraction and Analysis", IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology, 2017, pp. 325-328.

10. Oleh Viunytskyi, Vyacheslav Shulgin, "Fetal ECG and Heart Rhythm Analyzing Using BabyCard", Signal Processing Symposium, Jachranka Village, Poland, 2017, pp. 21-24.

УДК 612.78:661.831-073.97-71:519.24

Оксана Дозорська
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДІВ ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНИХ І ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОПОСЕРЕДКОВАНОГО ВІДНОВЛЕННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ЛЮДИНИ

На основі порівняльного аналізу можливостей, що їх дають математичні моделі електроенцефалографічного та електроміографічного сигналів у вигляді суміші детермінованих функцій та стаціонарного випадкового процесу, проведено обґрунтування вибору математичної моделі таких сигналів у вигляді кусково стаціонарного випадкового процесу та методів опрацювання.

Ключові слова: електроенцефалографічни сигнал, електроміографічний сигнал, математична модель

Oksana Dozorska

THE GROUNDING OF CHOICE THE MATHEMATICAL MODEL AND METHODS OF ELECTROENCEPHALOGRAPHIC AND ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS PROCESSING FOR THE MEDIATE RESTORATION OF HUMAN COMMUNICATIVE FUNCTION

On the basis of comparative analysis of the possibilities given by mathematical models of electroencephalographic and electromyographic signals in the form of a mixture of deterministic functions and stationary random process, the choice of mathematical model of such signals in the form of a piecewise stationary random process and methods of processing was made.

Keywords: electroencephalographic signal, electromyographic signal, mathematical model

В працях [1,2] обгрунтовано актуальність задачі опосередкованого відновлення комунікативної функції людини і запропоновано спосіб такого відновлення, що ґрунтується на паралельному відборі та опрацюванні електроенцефалографічних (ЕЕГ) і електроміографічних (ЕМГ) сигналів. В структурі цих біосигналів буде міститись інформація про роботу усіх органів, що задіюються в процесі реалізації комунікативної функції. Для отримання необхідної інформації про процес реалізації комунікативної функції необхідним є обґрунтування вибору способу математичного опису таких біосигналів та методів їхнього опрацювання. Методи опрацювання визначатимуть алгоритми функціонування програмного забезпечення технічних засобів опосередкованого відновлення комунікативної функції. При цьому, відсутні методи опрацювання таких паралельно зареєстрованих біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини.

Відповідно до запропонованого способу опосередкованого відновлення комунікативної функції людини [1,2], в структурі ЕЕГ сигналів повинні проявлятись ознаки зміни мозкової активності при реалізації комунікативної функції, а в структурі ЕМГ сигналів – ознаки наявності основного тону (ОТ) при вимовлянні (подумки) голосних та приголосних вокалізованих звуків.

Проаналізовано основні типи математичних моделей, відповідні методи опрацювання та інформативні ознаки, що отримуються при цьому. В найпростішому випадку ЕЕГ та ЕМГ сигнали можуть бути подані в рамках детерміністського підходу

у вигляді суміші періодичних функцій. При цьому, можливим стає застосування методів морфологічного, гармонічного та формантного аналізу. Методи морфологічного аналізу практично не застосовуються самі по собі. Методи ж формантного аналізу ґрунтуються на оцінюванні амплітудних спектрів сигналів, що отримуються в рамках гармонічного аналізу. Тому, основна інформація із ЕЕГ та ЕМГ сигналів при такому підході може бути отримана у випадку застосування саме гармонічного аналізу. При цьому, в стані спокою (коли не реалізується комунікативна функція) оцінки амплітудних спектрів вибірок з цих сигналів повинні бути стійкі до часових зсувів (для виявлення ознак процесу мовлення). Однак помічено, що оцінки амплітудних спектрів є мінливими в стані спокою, тому виявити ознаки процесу мовлення в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів цим методом складно. Мінливість амплітудних спектрів вказує на присутність випадкової складової в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Відомим є спосіб подання цих біосигналів у вигляді стаціонарного випадкового процесу [3], що передбачає незмінність ймовірнісних характеристик ЕЕГ та ЕМГ сигналів у часі. Однак, в структурі таких біосигналів повинні проявлятись ознаки реалізації комунікативної функції, що, в свою чергу, призведе до зміни їхніх імовірнісних характеристик, а виявлення часових моментів появи цих ознак становить основу запропонованого способу опосередкованого відновлення комунікативної функції, оскільки за змінами часової структури ЕЕГ сигналів необхідно знаходити часові моменти початку та закінчення процесу мовлення, а у випадку ЕМГ сигналів – необхідно знаходити часові моменти появи ознак ОТ в структурі цих сигналів. Отже модель ЕЕГ та ЕМГ сигналів у вигляді стаціонарного процесу не буде адекватною досліджуваній задачі опосередкованого відновлення комунікативної функції людини.

Для обґрунтування математичної моделі ЕЕГ та ЕМГ сигналів висунуто наступні припущення: 1) ділянки ЕЕГ та ЕМГ сигналів в стані спокою – при відсутності процесу мовлення за незмінних додаткових факторів (емоційний стан, положення пацієнта в просторі, заплющені очі, зовнішні впливи) – будуть стаціонарними; ділянки ЕЕГ та ЕМГ сигналів при реалізації комунікативної функції будуть стаціонарними, але з відмінними від аналогічних ділянок для стану спокою параметрами (статистичні оцінки, їхні розподіли тощо). Задача виявлення проявів в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів ознак процесу реалізації комунікативної функції зведеться до задачі виявлення характерних для такого процесу змін властивостей цих біосигналів. Відповідно, як математичну модель ЕЕГ та ЕМГ сигналів використано кусково стаціонарний випадковий процес. При цьому, поставлена задача зводиться до задачі виявлення часових моментів появи зміни параметрів стаціонарних ділянок ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Для опрацювання пропонується використати методи спектрально-кореляційного аналізу стаціонарних випадкових процесів, а опрацювання сигналів проводити на інтервалах часу визначеної тривалості (в межах ковзного вікна).

Запропоновано метод опрацювання ЕЕГ сигналів для виявлення часових моментів появи ознак реалізації комунікативної функції людини, що включає в себе наступні етапи: 1) формування ковзного вікна заданої ширини, яке транслюється в часі по реєстрограмі ЕЕГ сигналу; 2) в межах кожної трансляції ковзного вікна проводиться оцінювання розподілу спектральної густини потужності ЕЕГ сигналу; 3) проводиться усереднення оцінок розподілу спектральної густини потужності; 4) на основі отриманих усереднених оцінок розподілу спектральної густини потужності проводиться формування критерію прийняття рішення про наявність ознак реалізації комунікативної функції людини.

Також запропоновано метод опрацювання ЕМГ сигналів для виявлення часових моментів появи ознак ОТ, що включає в себе наступні етапи: 1) формування ковзного

вікна заданої ширини, яке транслюється в часі по реєстрограмі ЕМГ сигналу; 2) в межах кожної трансляції ковзного вікна проводиться оцінювання розподілу спектральної густини потужності ЕМГ сигналу; 3) проводиться оцінювання наявності максимума в розподілі спектральної густини потужності в діапазоні 80-210 Гц для ЕМГ, знятої з пацієнтів чоловічої статі, і в діапазоні 150-450 для ЕМГ, знятої з пацієнтів жіночої статі (формантний аналіз); 4) проводиться оцінювання інтервалу існування частоти основного тону (ЧОТ); 5) проводиться виявлення наявності максимумів оцінок розподілу спектральної густини потужності ЕМГ сигналу у визначеному попередньо інтервалі існування ЧОТ; 6) на основі отриманих результатів наявності максимумів проводиться формування критерію прийняття рішення про наявність ознак ОТ в структурі ЕМГ сигналів.

Оцінювання інтервалу існування ЧОТ проводилось за правилом трьох *s*, де *s* – кореговане стандартне відхилення для вибірки *x* (масив значень ЧОТ). При цьому, вибірка *x* має бути сформована експериментально із використанням формантного аналізу шляхом оцінювання частоти розміщення першого максимуму оцінок розподілу спектральної густини потужності із тестових сигналів ЕМГ, під час знімання яких пацієнт намагається вимовляти окремі голосні та приголосні вокалізовані звуки.

В запропонованих методах опрацювання ЕЕГ та ЕМГ сигналів оцінки часових моментів початку та закінчення процесу мовлення а також ознак ОТ будуть інтервальними (запропоновані методи дають можливість визначати часові інтервали, в межах яких будуть знаходитись ці оцінки), тому проведено обґрунтування вибору параметрів ковзного вікна з метою мінімізації похибки значень шуканих часових моментів. Основними параметрами ковзного вікна є його ширина та зсув у часі.

Для обчислення значення ширини вікна запропоновано вираз: $T_{вікно} = N / f_{осн.тону}$, де $T_{вікно}$ – ширина вікна; $f_{осн.тону}$ – середнє значення ЧОТ; *N* – коефіцієнт, значення якого обґрунтовується результатами досліджень Мулонге (*N* приблизно рівне 50).

Від величини зсуву вікна у часі буде залежати точність визначення часових моментів появи ознак процесу мовлення та ознак ОТ в структурі ЕЕГ та ЕМГ сигналів відповідно. Максимальна точність буде досягнута у випадку зсуву вікна на величину кроку дискретизації ЕЕГ та ЕМГ сигналів.

Запропонована математична модель та методи опрацювання паралельно зареєстрованих ЕЕГ і ЕМГ сигналів дають можливість виявлення часових моментів появи ознак процесу мовлення в структурі цих біосигналів із наступним розпізнаванням мови, та можуть бути втілені в технічних системах опосередкованого відновлення комунікативної функції мови.

Література

1. Дозорська О.Ф. Відбір та опрацювання біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції мови людини / О.Ф. Дозорська, В.Г. Дозорський, Є.Б. Яворська //Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2017. – Випуск 4(105) – С. 9-14.
2. Яворська Є. Метод опрацювання біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини / Є. Яворська, В.Дозорський, Л.Дедів, О.Дозорська // «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки». – К.: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, 2018. – Т. 29 (68), № 4. – С. 26-30.
3. Сахаров В.Л. Методы математической обработки электроэнцефалограмм: Учебное пособие. / В.Л. Сахаров, А.С. Андреенко. – Таганрог: "Антон", 2000. – 44 с.:ил.

УДК 53.05: 617.753

Павло Тимків, Любомир Демчук
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ROC-АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ЕЛЕКТРОРЕТИНОСИГНАЛУ

Відомі роботи в яких запропоноване застосування фільтру Калмана та методи параметричної ідентифікації обчислювальної моделі низькоінтенсивного електроретиносигналу. Проте використаний метод прямого направленого перебору (пошуку) коефіцієнтів, має значну часову складність, що унеможливлює автоматизоване застосування і переналаштування фільтру. Тому використовують удосконалений метод визначення коефіцієнтів математичної моделі низькоінтенсивного електроретиносигналу шляхом перебору у декілька ітерацій зі зміною кроку перебору. Виникає необхідність оцінювання удосконаленого методу параметричної ідентифікації на основі ROC-аналізу.

Ключові слова: електроретиносигнал, низька інтенсивність, фільтр Калмана, часова складність, ROC-аналіз, AUC, GINI.

Pavlo Tymkiv, Liubomyr Demchuk

ROC-ANALYSIS OF METHODS PARAMETRIC IDENTIFICATION OF THE COMPUTATIONAL MODEL LOW-INTENSIVE ELECTRORETINOSIGNAL

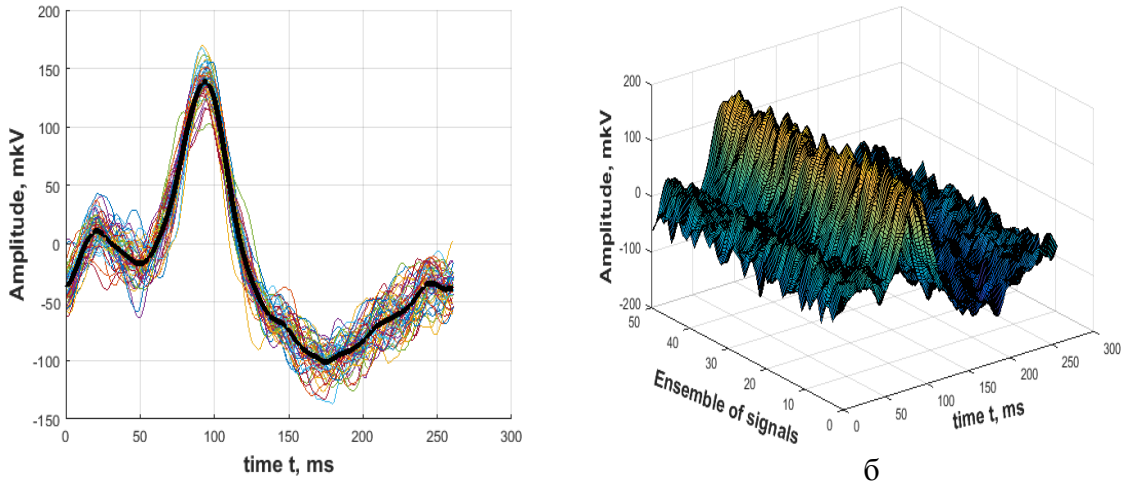
The ROC-analysis of the advanced method for determining the coefficients of the mathematical model of low-intensity electrodynamics was conducted, and the AUC and GINI index were determined.

Keywords: electroretinosignal low intensity, Kalman filter, time complexity, ROC-analysis, AUC, GINI

Відомі роботи, в яких на евристичних засадах обґрунтовано застосування фільтру Калмана та використано метод параметричної ідентифікації обчислювальної моделі відгуку ретини (електроретиносигналу (ЕРС)) на світлове подразнення (метод-прототип).

При цьому використовується метод послідовного підбору коефіцієнтів обчислювальної моделі, якому властива значна часова складністю. Для зменшення часу підбору використовують метод параметричної ідентифікації у декілька ітерацій зі зміною кроку перебору (удосконалений метод). Тому виникає потреба у застосуванні ROC-аналізу і визначення показників AUC та індексу GINI для оцінювання удосконаленого методу.

Шляхом імітаційного моделювання отримано статистику низькоінтенсивних ЕРС *x(t)* з нормальним розподілом ймовірності (рис.1).



а б

Рис. 1. Ансамбль імітаційно-модельованих низькоінтенсивних ЕРС:
а) – ансамбль модельованих низькоінтенсивних ЕРС методом-прототипом;
б) – ансамбль модельованих низькоінтенсивних ЕРС удосконаленим методом

Густини розподілу ймовірностей середньоквадратичної похибки (СКП) моделювання як міри оцінювання методу визначення коефіцієнтів математичної моделі низькоінтенсивного ЕРС, отриманих тестових статистик, наведено на рис.2.

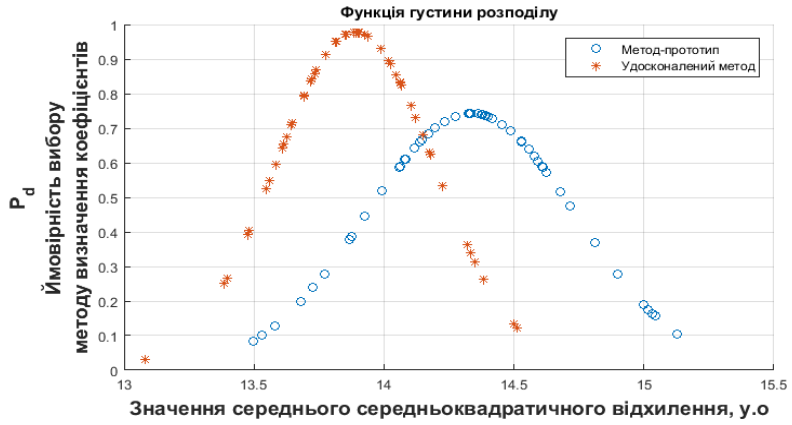


Рис. 2. Функція густини розподілу СКП методу-прототипу та удосконаленого методу

Задача вибору методу визначення коефіцієнтів математичної моделі низькоінтенсивного ЕРС при опрацюванні фільтром Калмана вирішується методами статистичної теорії вибору рішень.

При цьому умовна ймовірність помилкового визначення P_{fa}, трактується як імовірність того, що значення тестової статистики $q(t)$ перевищить деяке граничне значення порогу γ, що призведе до помилкового рішення.

Відповідно до критерію Неймана-Пірсона ймовірність помилкового вибору методу P_{fa} повинна задаватися:

$$P_{fa} = \int_{\gamma}^{\infty} W_0(q)dq = 1 - \Phi\left(\frac{\gamma - m_0}{\sqrt{D_0}}\right) \quad (1)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{\frac{-u^2}{2}} du$ — інтеграл ймовірності.

Тоді імовірність правильного вибору методу:

$$P_d = \int_{\gamma}^{\infty} W_1(q)dq = 1 - \Phi\left(\frac{\gamma - m_1}{\sqrt{D_1}}\right) \quad (2)$$

Характеристики достовірності вибору методу визначення коефіцієнтів є залежністю ймовірності правильного визначення P_d від коефіцієнту девіації, при фіксованій імовірності помилкового вибору методу P_f. (P_{fa} = 0,1; P_{fa} = 0,01; P_{fa} = 0,001; P_{fa} = 0,0001). Відповідні графіки наведено на рис.3

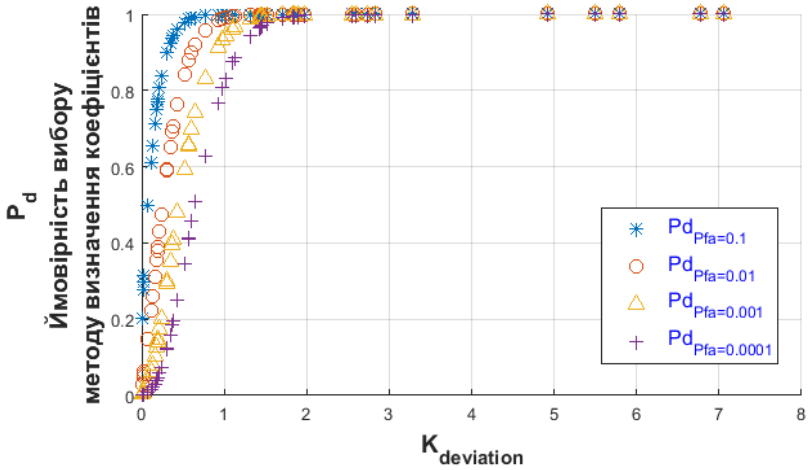


Рис. 3 Функціональна залежність ймовірності вибору методу від коефіцієнта девіації

Базуючись на результатах бінарної класифікації адаптованого критерію Неймана-Пірсона, та обчислених значеннях ймовірності правильного вибору методу P_d при заданні ймовірності хибного вибору P_{fa}, в подальшому дослідженні, необхідно визначити залежність кількості вірно класифікованих позитивних результатів від кількості невірно класифікованих помилкових результатів за допомогою ROC-аналізу.

ROC-характеристика методів визначення коефіцієнтів математичної моделі низькоінтенсивного ЕРС при опрацюванні фільтром Калмана для методу-прототипу та удосконаленого методу набуває вигляду (рис. 4).

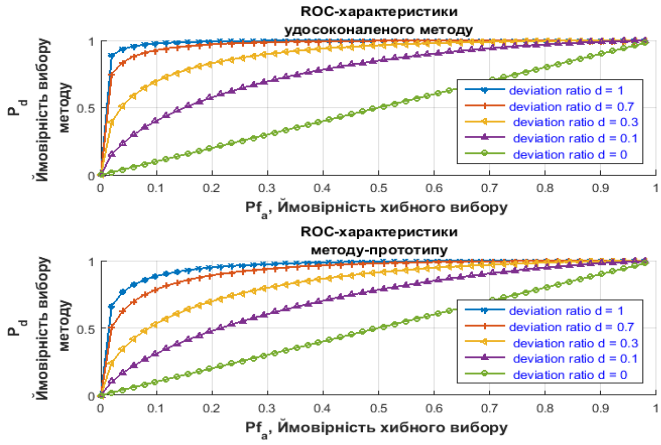


Рис. 4. ROC-криві методу-прототипу та удосконаленого методу

Чим ближче *ROC*-крива до верхнього лівого кута, тим метод є ефективнішим. І навпаки, чим ближче вона до діагоналі, тим менш ефективний метод. Проте візуальне порівняння *ROC*-кривих не завжди дозволяє виявити найбільш ефективний метод. Для кількісної інтерпретації *ROC*-аналізу визначимо показник *AUC* (Area Under ROC Curve) – площа, обмежена *ROC*-кривої і віссю частки помилкових позитивних класифікацій.

Метод-прототип		Удосконалений метод	
Deviation ratio *(d)*	Показник *AUC*	Deviation ratio (*d*)	Показник *AUC*
$d_1 = 1$	$AUC_1 = 0{,}9365$	$d_1 = 1$	$AUC_1 = 0{,}9628$
$d_2 = 0{,}7$	$AUC_2 = 0{,}9065$	$d_2 = 0{,}7$	$AUC_2 = 0{,}9486$
$d_3 = 0{,}3$	$AUC_3 = 0{,}8111$	$d_3 = 0{,}3$	$AUC_3 = 0{,}8757$
$d_4 = 0{,}1$	$AUC_4 = 0{,}6904$	$d_4 = 0{,}1$	$AUC_4 = 0{,}7474$

Після визначення значення *AUC* обчислимо індекс GINI (*G*) за формулою:

$$G_{(GINI)} = 2 \cdot (AUC - 0{,}5) \qquad (3)$$

де $G_{(GINI)}$ – якість ROC-кривої.

$$G_{1(GINI)} = 0{,}9256,\ G_{2(GINI)} = 0{,}8972,\ G_{3(GINI)} = 0{,}7514,\ G_{4(GINI)} = 0{,}4948.$$

Максимальне значення індекса $G_{1(GINI)}$ дорівнює 0,9256.

Висновки. Проведений ROC-аналіз показав вищу достовірність запропонованого удосконаленого методу визначення коефіцієнтів, а визначення кількісного показника AUC та індексу $G_{(GINI)}$($AUC_1 = 0{,}9628$, $AUC_2 = 0{,}9486$, $AUC_3 = 0{,}8757$, $AUC_4 = 0{,}7474$ та $G_{1(GINI)} = 0{,}9256$, $G_{2(GINI)} = 0{,}8972$, $G_{3(GINI)} = 0{,}7514$, $G_{4(GINI)} = 0{,}4948$ відповідно) для двох методів – більшу повноту та чутливість удосконаленого методу в порівнянні з методом прототипом.

УДК 617.715

Роман Ткачук, д.т.н., проф., А. Ткачук
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

НЕДОЛІКИ ДРЕНАЖНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИВЕДЕННЯ ВНУТРІШНЬООЧНОЇ РІДИНИ ПРИ ГЛАУКОМІ

Основною причиною ураження очного нерва при глаукомі є підвищений рівень внутрішньоочного тиску (ВОТ), що виникає через втрату функцій трабекулярної мережі ока, через яку виводиться внутрішньоочна рідина [1]. Послідовність лікування глаукоми залежить від стадії захворювання та спрямована на нормалізацію рівня ВОТ, схема послідовності лікування зображена на рисунку 1[2]. Імплантація дренажних пристроїв зазвичай виконується після попередніх невдалих лікувань та є останнім шансом пацієнта зберегти зір, в роботі оглянуто недоліки сучасних дренажних систем.

Ключові слова: глаукома, внутрішньоочнна рідина, тиск, ВОТ.

Roman Tkachuk, A. Tkachuk

DISADVANTAGES OF DRAINAGE DEVICE FOR OUTPUT OF INTRAOCULAR FLUID IN GLAUCOMA

Drainage device implantation is usually performed after previous unsuccessful treatments and is the last chance to save the patient's eyes, in the work examined the disadvantages of modern drainage systems.

Keywords: glaucoma, intraocular fluid, pressure, IOP.

Імплантати для виведення внутрішньоочної рідини при глаукомі поділяються на дві категорії: з обмежувачем потоку та без нього. Імплантати без обмежувача потоку забезпечують малий опір потоку рідини протягом раннього післяопераційного періоду до моменту утворення фіброзної капсули навколо пластини імплантата, проте в таких система є ризик виникнення гіпотензії[3], до таких дренажних систем відносяться імплантати Molteno та Baerveldt [4, 5]. Імплантати з обмежувачем потоку внутрішньоочної рідини забезпечують опір потоку і запобігають гіпотензії в ранньому післяопераційному періоді, до таких імплантаті відносяться Eagle Vision[6], і Ahmed Glaucoma Valve [7]. Типи імплататів наведено у таблиці 1.

Рис. 1. Послідовність лікування глаукоми

Дослідження підтверджують, що імплантація пристроїв для виведення внутрішньоочної рідини при глаукомі є ефективною для лікування пацієнтів з різними рефрактерними або важко виліковними типами глаукоми, включаючи провал трабекулектомії[8], великі рубцювання кон'юнктиви[9] або поганий прогноз трабекулектомії для первинної хірургії [10].

Табл.1 Сучасні імплантати для виведення внутрішньоочної рідини при глаукомі

Тип імпланта	**Розмір пластини**	**Кількість пластин**	**Матеріал**	**Обмежувач потоку**
Ahmed Glaucoma Valve	184 mm^2	1	поліпропілен	є
	364 mm^2	2	поліпропілен	є
	96 mm^2	1	поліпропілен	є
	184 mm^2	1	силікон	є
	364 mm^2	2	силікон	є
	96 mm^2	1	силікон	є
Eagle Vision	209 mm^2	1	силікон	є
Baerveldt	250 mm^2	1	силікон	нема
	350 mm^2	1	силікон	нема
Molteno	134 mm^2	1	поліпропілен	нема
	268 mm^2	2	поліпропілен	нема

Проте сучасні дренажні системи для виведення внутрішньоочної рідини не є досконалими і мають високий ризик провалу операції. У дослідженнях провал операції визначений так: рівень ВОТ більший за 21 мм рт. ст., рівень ВОТ менший або рівний 5 мм рт. ст. при двох послідовних візитах через 3 місяці, повторна операція при глаукомі або втрата сприйняття світла. У дослідженнях з імплантатом Ahmed Glaucoma Valve показники відмови становлять від 13 до 24 % протягом 1 року після імплантації, а через 2 роки від 23 до 32 % [11-14]. Для імплантату Baerveldt кумулятивна вірогідність відмови становить від 8 до 27% через 6 місяців і від 21 до 40% протягом 24 місяців[15,16]. У випробовуваннях з імплантатом Molteno відмова була у 26% через 33 місяці та 43% через 44 місяці[17, 18]. Показники відмови з імплантатом Eagle Vision сягали від 20% до 34% через 1-2 роки [19, 20].

Недоліки сучасних дренажних систем для виведення внутрішньоочної рідини при глаукомі наступні.

1) Післяопераційна гіпотензивна фаза з ризиком відшарування сітківки ока у імплантатах без обмежувачів потоку (Baerveldt, Molteno);

2) Ризик гіпотензиної післяопераційної фази та відмови імплантату, ризик втрати зору;

3) Необхідність частого обстеження після імпланатції та неможливість пацієнта самостійно виміряти рівень ВОТ.

4) Необхідність застосування медикаментів разом з імплантацією.

5) Відсутність регулюючого елементу в сучасних імплантатах, оскільки вони з постійною швидкістю випускають внутрішньоочну рідину, а при високому рівні ВОТ вони випускатимуть рідину так, як і при нормальному рівні.

Отже на даний час є потреба у вдосконаленні методу виведення внітрішньоочного тиску за допомогою дренажних систем щоб зменшити рівень невдач при імплантації, та розробки імплантату що враховуватиме рівень внутрішньоочного тиску пацієнта, та дозволить точно контролювати рівень ВОТ та утримувати його в заданих межах, а також слідкуватиме за його добовими змінами, що дозволить попередити негативні впливи та відкоригувати лікування глаукоми, та в підсумку зберегти зір пацієнтам з глаукомою.

Література

1. Ри Дуглас Дж. Глаукома: атлас / пер. с англ. под ред. С. Э. Аветисова, В. П. Еричева. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. - 472 с.

2. The Glaucoma Book / Paul N. Schacknow, John R. Samples – USA: Springer, 2010. – 1043 с.

3. Siegner SW, Netland PA, Urban RC, et al. Clinical experience with the Baerveldt glaucoma drainage implant. Ophthalmology.1995;102:1298–1307.

4. Molteno AC, Straughan JL, Ancker E, et al. Long tube implants in the management of glaucoma. S Afr Med J. 1976;50: 1062–1066.

5. Molteno AC. The optimal design of drainage implants for glaucoma. Trans Ophthalmol Soc N Z. 1981; 33:29–41.

6. Krupin T, Podos SM, Becker B, et al. Valve implants in filtering surgery. Am J Ophthalmol. 1976;81: 232–235.

7. Francis BA, Cortes A, Chen J, et al. Characteristics of glaucoma drainage implants during dynamic and steady-state flow conditions. Ophthalmology. 1998; 105:1708–1714

8. Wilson MR, Mendis U, Smith SD, et al. Ahmed glaucoma valve implant vs trabeculectomy in the surgical treatment of glaucoma: a randomized clinical trial. Am J Ophthalmol. 2000;130: 267–273.

9. Ayyala RS, Pieroth L, Vinals AF, et al. Comparison of mitomycin C trabeculectomy, glaucoma drainage device implantation, and laser neodymium:YAG cyclophotocoagulation in the management of intractable glaucoma after penetrating keratoplasty. Ophthalmology. 1998;105: 1550–1556

10. Gedde SJ, Herndon LW, Brandt JD. Surgical outcomes in the tube versus trabeculectomy study during the first year of follow-up. Am J Ophthalmol. 2007; 143: 23–31.

11. Coleman AL, Hill R, Wilson MR, et al. Initial clinical experience with the Ahmed glaucoma valve implant. Am J Ophthalmol. 1995; 120:23–31.

12. Topouzis F, Coleman AL, Choplin N, et al. Follow-up of the original cohort with the Ahmed glaucoma valve implant. Am J Ophthalmol. 1999; 128:198–204.

13. Huang MC, Netland PA, Coleman AL, et al. Intermediate-term clinical experience with the Ahmed glaucoma valve implant. Am J Ophthalmol. 1999; 127:27–33.

14. Ayyala RS, Zurakowski D, Smith JA, et al. A clinical study of the Ahmed glaucoma valve implant in advanced glaucoma. Ophthalmology. 1998; 105:1968–1976.

15. Siegner SW, Netland PA, Urban RC, et al. Clinical experience with the Baerveldt glaucoma drainage implant. Ophthalmology.1995; 102:1298–1307.

16. WuDunn D, Phan AD, Cantor LB, et al. Clinical experience with the Baerveldt 250-mm 2 Glaucoma implant. Ophthalmology. 2006; 113:766–772

17. Price FW, Wellemeyer M. Long-term results of Molteno implants. Ophthalmic Surg. 1995; 26:130–135.

18. Mills RP, Reynolds A, Emond MJ, et al. Long-term survival of Molteno glaucoma drainage deices. Ophthalmology. 1996; 103:299–305.

19. Krupin eye valve with disk for filtration surgery: The Krupin Eye Valve Filtering Study Surgery Group. Ophthalmology. 1994; 101:651–658.

20. Fellenbaum PS, Almedia AR, Minckler DS, et al. Krupin disk implantation for complicated glaucomas. Ophthalmology. 1994; 101:1178–1182.

УДК 617.7-073.178

А. Ткачук, Роман Ткачук, д.т.н., проф.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

СИСТЕМА ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИВЕДЕННЯ ВНУТРІШНЬООЧНОЇ РІДИНИ ПРИ ГЛАУКОМІ

Основною причиною розвитку глаукоми стає неконтрольована зміна витоку внутрішньоочної рідини через трабекулярну мережу[1], що при патології призводить до підвищення внутрішньоочного тиску (ВОТ) та ураження очного нерва [2]. Імплантація дренажних пристроїв зазвичай виконується після попередніх невдалих лікувань та є останнім шансом пацієнта зберегти зір [3]. Тому виникає необхідність перевірити параметри тиску при якому відбувається виведення внутрішньоочної рідини імплантатом перед вживленням в око людини, та покращити підбір, або виявити відхилення параметрів виведення внутрішньоочної рідини в імплантаті. Пропонується тестова система контролю і налаштування параметрів дренажних пристроїв що нормалізують виведення внутрішньоочної рідини при глаукомі, до значень внутрішньоочного тиску в діапазоні 9 – 21 мм рт. ст.

Ключові слова: глаукома, внутрішньоочнна рідина, тиск, ВОТ.

Dr., Prof. - Tkachuk R. A., Tkachuk A. A.

SYSTEM FOR TESTING DRAINAGE DEVICES FOR OUTPUT INTRAOCULAR FLUID IN GLAUCOMA

Implantation of drainage devices is usually performed after previous unsuccessful treatments and is the last chance for the patient to save vision. This work introduces the test system for monitoring and adjusting the parameters of drainage devices for normalize the output of the intraocular fluid in glaucoma eye, for normal values of intraocular pressure 9 – 21 mm Hg.

Keywords: glaucoma, intraocular fluid, pressure, IOP.

Система калібрування та перевірки імплантатів що виводять внутрішньоочну рідину дозволяє протестувати та уточнити параметри імплантатів Molteno[4], Baerveldt[5], Eagle Vision[6] і Ahmed Glaucoma Valve[7] який з них найбільше підходить пацієнту. А також цей підхід сприятиме розробці та тестуванні новостворених імплантатів. Принцип роботи такої системи базується на імітації нормального внутрішньоочного тиску рівнем 9 – 21 мм рт. ст. системою калібрування та перевірки імплантату. Блок-схема системи калібрування та перевірки імплантату наведена на рисунку 1.

Даний метод тестування полягає в подачі фізрозчину через детектор тиску на вхід імплантату до детектора рідини що дозволяє виявити рівень початкового робочого тиску. Для стабільного контролю тиску необхідно врахувати наступні фактори: біосумісність [8] (тобто низьку токсичність); герметичність [9]; довгострокову механічну стабільність [10]; точність вимірювань ± 1 мм рт. ст.

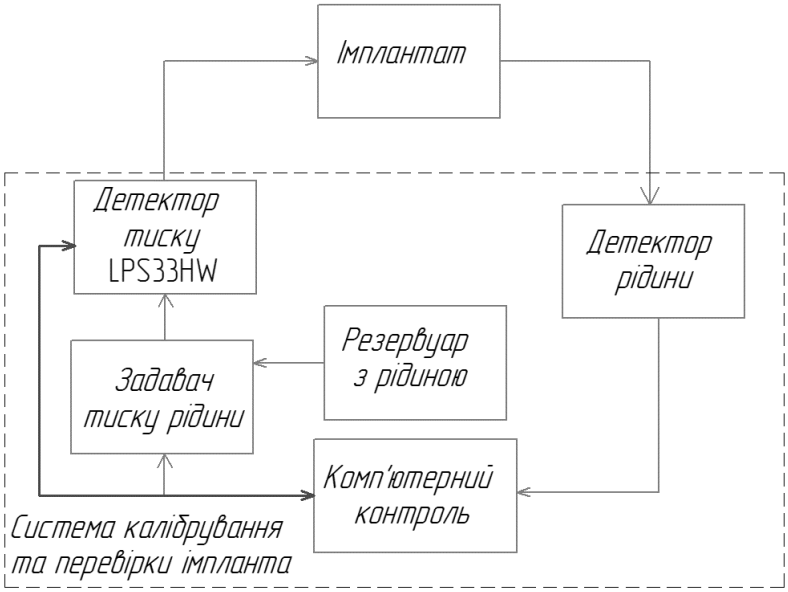


Рис. 1. Блок схема системи калібрування та перевірки імплантату

Система калібрування та перевірки імплантатів складається з детектора тиску LPS33HW від ST Microelectronics (таблиця 1) [11] з цифровим зчитуванням, температурною компенсацією, та водостійким корпусом, задавача тиску до якого підключений резервуар з фізрозчином, детектора рідини, плати контролю STEVAL-MKI109V3 [12] на базі мікроконтролера STM32F401VE що використовує архітектуру ARM Cortex M4, обмін даними з ПК здійснюється за допомогою інтерфейсу USB, та керується за допомогою програмного забезпечення Unico від ST Microelectronics.

Таблиця 1 Параметри детектора тиску LPS33HW

Робочий тиск	260 - 1260 Гпа
Тип тиску	Абсолютний
Точність	± 1 hPa (± 0.75 мм рт. ст.)
Тип інтерфейсу зчитування	I^2C, SPI.
Розширення тиску	24 bit.
Розширення температури	16 bit.
Напруга живлення	1,7 – 3,6 В.
Робочі температури від	- 40 С до + 85 С.
Робоча споживання струму	15 мкА.

Алгоритм роботи системи калібрування та перевірки імплантатів наведений на (рис. 2). Розглянемо приклад регулювання, якщо нормальний рівень ВОТ пацієнта становить 16 мм рт. ст. Вхід імплантату приєднується до системи калібрування та перевірки імплантату, а вихід під'єднати до детектора рідини системи калібрування та перевірки імплантату. Виставити необхідний рівень тиску (16 мм рт. ст) системи калібрування та перевірки імплантату, тоді задавач тиску плавно почне збільшувати рівень тиску фізрозчину у системі, спершу алгоритм перевіряє умову чи Твх < Трег (16 мм рт. ст), якщо детектор рідини спрацював при цій умові, то система регулює тиск нижче необхідного. Якщо детектор рідини спрацьовує при виконанні умови Твх = Трег тоді імплантат справний та виводить рідину. Якщо виконується умова Твх > Трег тоді імплантат виводить внутрішньоону рідину при вищому тиску ніж необхідно для пацієнта, що може призвести до прогресу глаукоми та втрати зору.

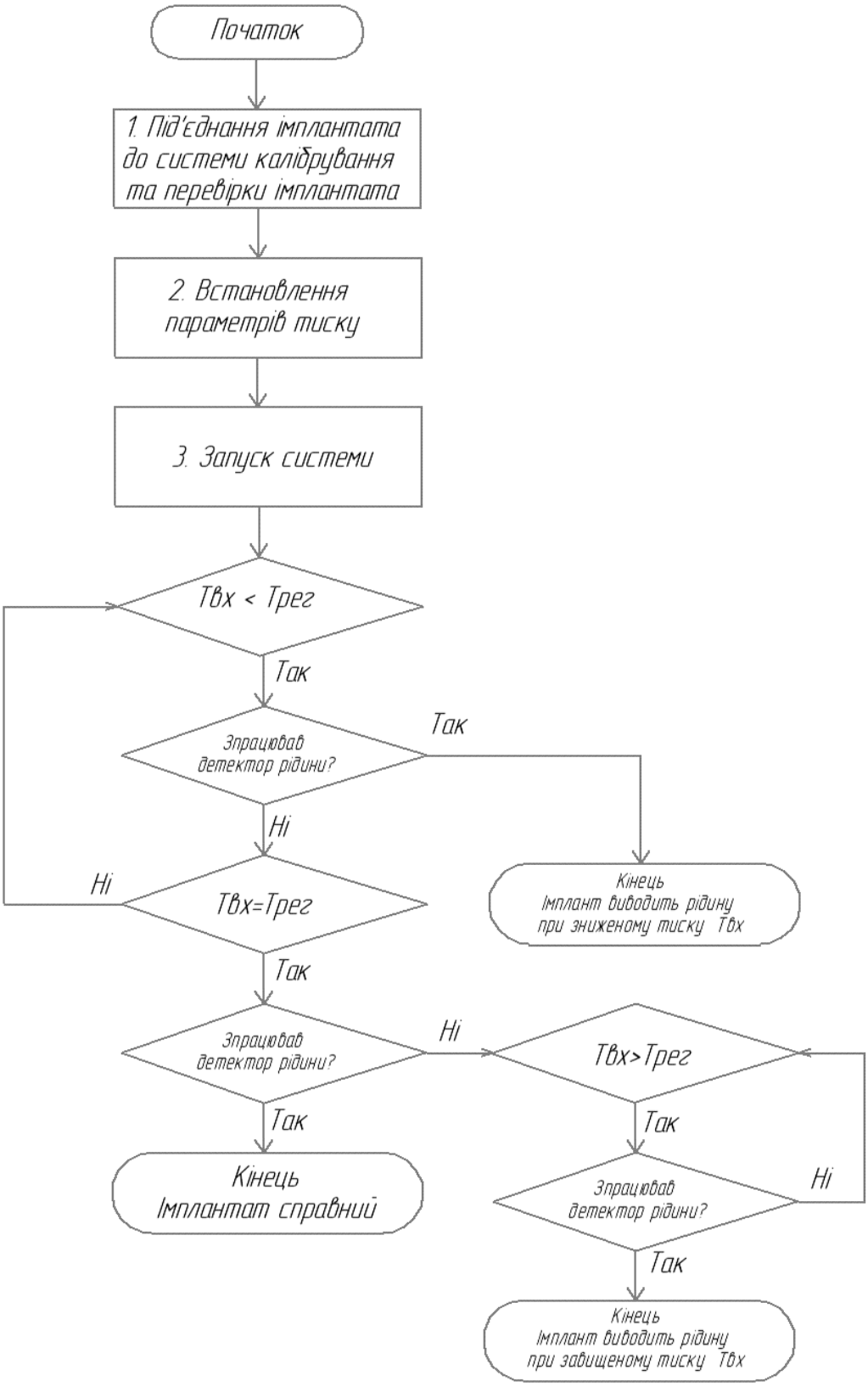


Рис. 2. Алгоритм роботи системи калібрування та перевірки імплантату

Отже, запропонована система калібрування та перевірки імплантату тестує дренажні пристрої для виведення внутрішньоочної рідини перед імплантацією, виявляє тиск при якому вони починають виводити внутрішньоочну рідину, дає змогу підібрати імплантат під необхідний індивідуальний рівень внутрішньоочного тиску пацієнта, що дозволить попередити негативні впливи та відкоригувати лікування глаукоми, та в підсумку зберегти зір пацієнтам. Точність системи ± 0.75 мм рт. ст. забезпечується датчиком тиску LPS33HW. Ця система також підходить для контролю параметрів при розробці нових систем для виведення і виміру тиску внутрішньоочної рідини.

Література

1. Нестеров, А. П. Глаукома: Научное издание / Под общ. ред. А.С.Петров. – М. МИА, 2014. – 360 с
2. Ри Дуглас Дж. Глаукома: атлас / пер. с англ. под ред. С. Э. Аветисова, В. П. Еричева. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. - 472 с.
3. The Glaucoma Book / Paul N. Schacknow, John R. Samples – USA: Springer, 2010. – 1043 с.
4. Molteno AC. The optimal design of drainage implants for glaucoma. Trans Ophthalmol Soc N Z. 1981; 33:29–41. DOI:10.1016/S0161-6420(95)30871-8
5. Siegner SW, Netland PA, Urban RC, et al. Clinical experience with the Baerveldt glaucoma drainage implant. Ophthalmology.1995;102:1298–1307.
6. Krupin T, Podos SM, Becker B, et al. Valve implants in filtering surgery. Am J Ophthalmol. 1976;81: 232–235.
7. Francis BA, Cortes A, Chen J, et al. Characteristics of glaucoma drainage implants during dynamic and steady-state flow conditions. Ophthalmology. 1998; 105:1708–1714 DOI: 10.1016/S0161-6420(98)99042-X
8. Kotzar, G.; Freas, M.; Abel, P.; Fleischman, A.; Roy, S.; Zorman, C.; Moran, J.M.; Melzak, J. Evaluation of MEMS materials of construction for implantable medical devices. Biomaterials 2002, 23, 2737–2750 DOI:10.1016/S0142-9612(02)00007-8
9. Williams, D.F. Corrosion of implant materials. Annu. Rev. Mater. Sci. 1976, 6, 237–266. DOI:10.1146/ANNUREV.MS.06.080176.001321
10. Eide, P.K.; Bakken, A. The baseline pressure of intracranial pressure (ICP) sensors can be altered by electrostatic discharges. Biomed. Eng. Online 2011, 10, DOI:10.1186/1475-925X-10-75.
11. LPS33HW MEMS pressure sensor [Електронний ресурс]: 260-1260 hPa absolute digital output barometer with water-resistant package. – Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/datasheet/lps33hw.pdf (дата звернення 15.05.2019) – Назва з екрана.
12. STEVAL-MKI109V3 Professional MEMS tool [Електронний ресурс]: ST MEMS adapters motherboard based on the STM32F401VE and compatible with all ST MEMS adapters – Режим доступу: https://www.st.com/resource/en/data_brief/steval-mki109v3.pdf (дата звернення 15.05.2019) – Назва з екрана.

УДК 519.213:519.2

Лілія Хвостівська, МиколаХвостівський, к.т.н., доцент, Галина Осухівська, к.т.н., доцент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛУ

Розроблено оптимальний метод обчислення періоду пульсового сигналу, який базується на процедурі обчислення мінімуму функції варіації усереднених значень центрованого сигналу при різних значеннях пробних періодів.

Ключові слова: пульсовий сигнал, період, центрований сигнал, варіація, мінімум.

Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyy, Halyna Osukhivska

METHOD OF DETERMINATION OF PULSE SIGNALING PERIOD

The optimal method for calculating the pulse signal period is developed, which is based on the procedure for computing the minimum of the function of variation of the average values of the centered signal at different values of the test periods.

Keywords: pulse signal, period, centered signal, variation, minimum

Коректність працездатності методів аналізу пульсового сигналу (ПС) у комп'ютерних системах діагностики стану судин людини залежить від процедури визначення періоду сигналу як основного показника циклічності роботи кровоносної системи людини.

Відомі методи визначення періоду ПС такі як метод екстремальних значень, усереднення інтервалів між максимальними значеннями амплітудних спектрів сигналу, усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями автокореляційної функції сигналу та обчислення максимального значення варіаційної функції біомедичного сигналу не забезпечують достатньої точності, що призводить до розмитості результатів оцінювання.

При розробці методу обчислення періоду пульсового сигналу припущено дві гіпотези, що середнє значення центрованого ПС $\overset{0}{\xi}(t,T)$ без випадкової складової $n(t)$ у своїй структурі рівний нулю Н0, а в іншому випадку – не рівне Н1:

$$\text{H1: } M_t\left\{\left|\overset{0}{\xi}(t,T)\right|\right\} = 0, \tag{1}$$

$$\text{H0: } M_t\left\{\left|\overset{0}{\xi}(t,T+n(t))\right|\right\} \neq 0. \tag{2}$$

де $\overset{0}{\xi}(t,T)$ - центрований ПС відносно математичного сподівання з періодом *T*, $\overset{0}{\xi}(t,T) = \xi(t) - m_\xi(t,T)$.

За такого припущення необхідно задати функцію $M_\xi(T)$ усереднених значень центрованого ПС, яка мала би точну нижню границю на інтервалі значень періоду $[T_{\min}; T_{\max}]$:

$$M_{\xi}(T) = \inf_{\forall D(T \in [T_{\min};T_{\max}])t \in \mathrm{R}} \left(M_t \left\{ \left| \overset{0}{\xi}(t,T) \right| \right\} \right), \qquad (3)$$

За оцінку істинного значення $\widehat{T}$ періоду ПС буде прийнято таке значення періоду, яке дає мінімальне середнє значення довжини вектора центрованого сигналу:

$$\widehat{T} = \arg\min_{T} \left(M_{\xi}(T); [T_{\min};T_{\max}] \right). \qquad (4)$$

На рис.1 наведено результати оцінювання мінімальне значення розмаху середньоквадритного відхилення ансамблю реалізацій ПС при різних значеннях періодів $\widehat{\sigma}_{\xi}(t,T_k)$ отриманих різними методами.

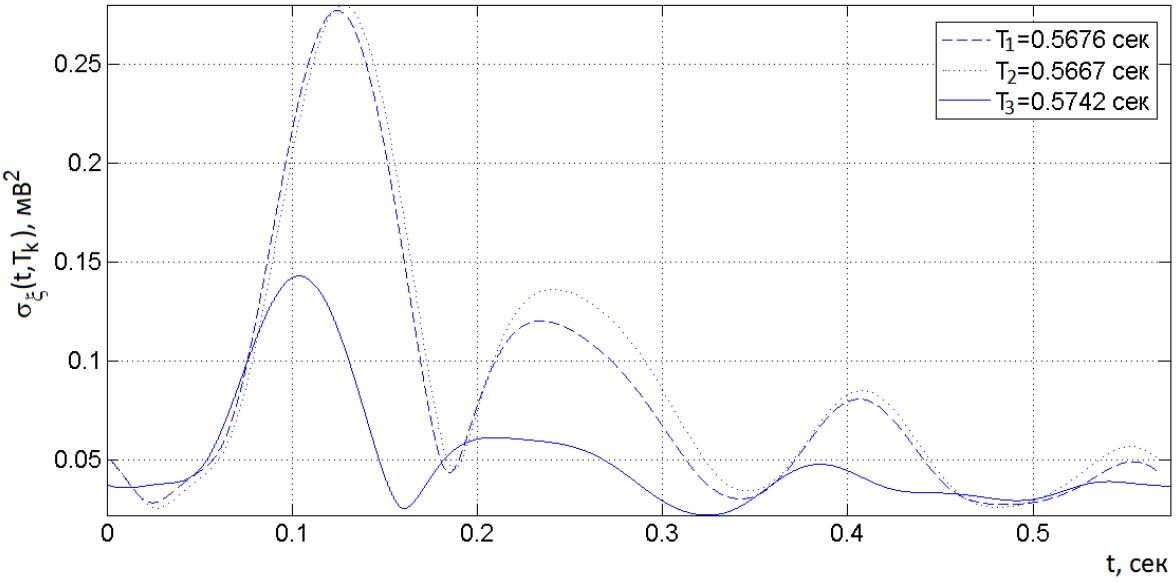


Рис. 1. Реалізації середньоквадратичного відхилення $\widehat{\sigma}_{\xi}(t,T_k)$ ПС з різними значеннями періодами, які обчисленні відомими методами:

Т1 – період обчислений методом екстремальних значень та усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями автокореляційної функції

Т2 – усереднення інтервалів часу між максимальними значеннями автокореляційної функції сигналу

Т3 – період обчислений розробленим критерієм

З отриманих результатів (рис.1) встановлено, що реалізація ПС із періодом *Т3*=0,5742 сек (визначено розроблений методом) має найменший розмах середньоквадратичне відхилення $\widehat{\sigma}_{\xi}(t,T_k)$ (максимальний розмах – 0,1429мВ^2, при Т=0.5676 сек – розмах 0.2769 мВ^2, при Т=0.5667 сек – розмах 0.2798 мВ^2) шляхом синхронізації реалізацій пульсового сигналу.

Висновки

Отримані результати обчислення періоду підтверджують актуальність застосування розробленого методу на базі мінімуму функціоналу варіації середніх значень центрованого ПС (4) для оптимального визначення періоду ПС.

УДК 519.218; 612.16

Євгенія Яворська, к.т.н., доц., Оксана Стрембіцька
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВИКОРИСТАННЯ СИНФАЗНОГО МЕТОДУ ОПРАЦЮВАННЯ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ОЦІНКИ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ПАЦІЄНТА У СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ПРАКТИЦІ

В тезах доповіді розглянуто проблему оцінки стану пацієнта на прийомі у лікаря стоматолога із використанням фотоплетизмографічного сигналу. Особливу увагу приділено синфазному методу опрацювання сигналу як періодично корельованого випадкового процесу.

Ключові слова: фотоплетизмографічний сигнал, пульсовий сигнал, синфазний метод, періодично корельований випадковий процес, стоматологія.

Eugenia Yavorska, Oksana Strembitska

THE USE OF THE SYNTHASIS METHOD OF PHOTOPLETISMOGRAPHIC SIGNAL PROTECTION FOR ASSESSMENT OF PATIENT PSYCHOEMOTION STATE IN DENTAL PRACTICE

In the theses of the report the problem of evaluation of the patient's condition at reception by the dentist using the photoplethysmographic signal is considered. Particular attention is paid to the synthasis method of processing the signal as a periodically correlated random process.

Keywords: photopletismographic signal, pulse signal, synthasis method, periodically correlated random process, dentistry.

Ефективне та безпечне надання стоматологічної допомоги населенню є актуальною проблемою розвитку медицини. За даними Міністерства охорони здоров'я України [1] профілактичні огляди ротової порожнини станом на 2018р. проходило 36,4% опитаних (загальна кількість респондентів – понад 10000 осіб). Таким чином, огляд у лікаря-стоматолога належить до найпоширеніших форм профілактичних оглядів населення, поступаючись лише флюорографії та електрокардіографії (ЕКГ). При цьому, серед оглянутих пацієнтів потребують подальшого лікування 50,9%: 52,7% дорослі, 48,4% - діти віком до 17 років [2]. За результатами щорічного огляду, спостерігається значна диференціація за потребою у наданні стоматологічної допомоги у різних регіонах України. Дані станом на 2018р. по регіонах України наведено на рис.1. Як свідчать результати статистичних досліджень, на 1000 населення 345-350 випадків звернень у медичні заклади припадає саме на звернення до лікаря стоматолога [3].

Проведення стоматологічних маніпуляцій супроводжується ризиком виникнення невідкладних станів. Вони зумовлені специфікою прийому лікаря стоматолога: великий потік хворих; недостатність часу для обстеження хворих; пацієнти із супутніми соматичними захворюваннями; стрес-реакція організму, зумовлена психічною перенапругою; негативні емоційні спогади, які пов'язані із попередніми зверненнями до стоматолога; реакція на медичні препарати [4]. В 0,13% звернень до лікаря стоматолога спостерігаються невідкладні стани, які потребують допомоги анестезіолога-реаніматолога [5].

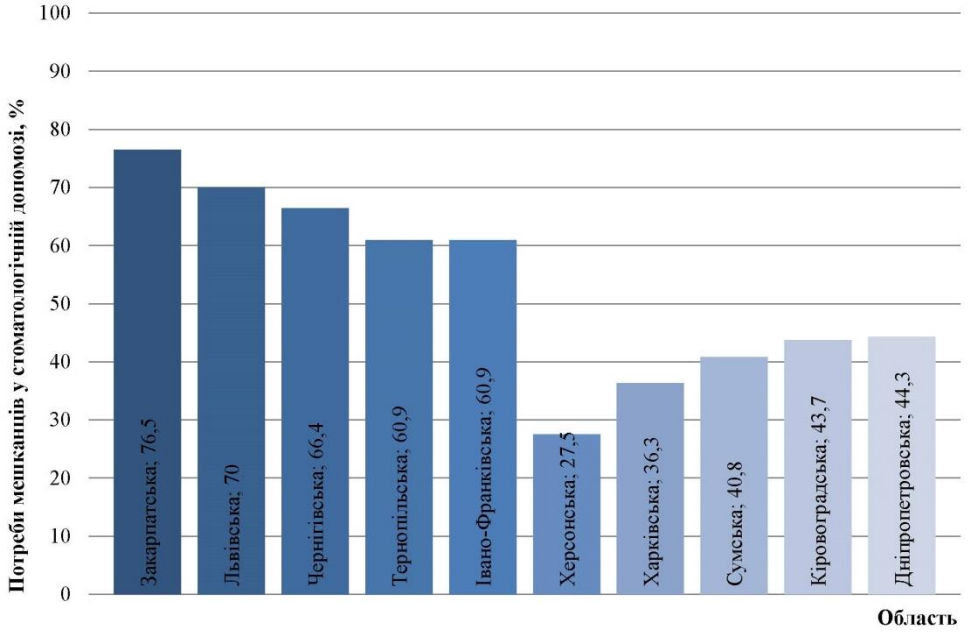


Рис. 1. Регіональна диференціація населення України за потребою у наданні стоматологічної допомоги (% від числа пацієнтів, що пройшли щорічний плановий огляд)

Своєчасне виявлення невідкладних станів зменшує вірогідність ускладнень та летальних випадків. Використання фотоплетизмографічного сигналу (ФПС) у стоматологічній практиці для оцінки психоемоційного стану пацієнтів потребує застосування методів статистичного оцінювання пульсового сигналу. Для оцінювання ФПС розроблено синфазний метод комп'ютерного опрацювання сигналу, який ґрунтується на використанні періодично корельованого випадкового процесу (ПКВП) як математичної моделі сигналу [6].

Основною характеристикою сигналу у випадку використання математичної моделі сигналу у вигляді ПКВП [7] є період корельованості сигналу. Статистичний період корельованості близький до періоду серцевого циклу. Найпростіший метод знаходження періоду пульсового сигналу полягає в усереднені часу між максимальними значеннями ФПС на певному інтервалі часу [8].

Максимальне значення амплітуди фотоплетизмографічного сигналу припадає на анакротичний період серцевого циклу. На рис. 2 показано максимальні значення сигналу, період сигналу визначено через виділення його пікових значень. Як видно із рис. 2 середнє значення періоду рівне 0,89с, максимальне та мінімальне відхилення від середнього складають відповідно - 1,01с та 0,72с. Ці значення свідчать про незначну зміну періоду, а також придатність даного методу для визначення періоду корельованості сигналу як ПКВП.

Оцінка періоду сигналу проводилася за амплітудним спектром сигналу, шляхом обчислення добутку гармонік спектрів. Використання швидкого перетворення Фур'є до ФПС дає змогу виявити усереднений період сигналу і при великому числу вхідних даних дає високу точність середнього періоду. На рис. 3 представлено графік амплітудно-частотного спектру сигналу та шуму у частотній області, на якому чітко виражено амплітудний пік сигналу, який відповідає усередненому значенню серцевого ритму.

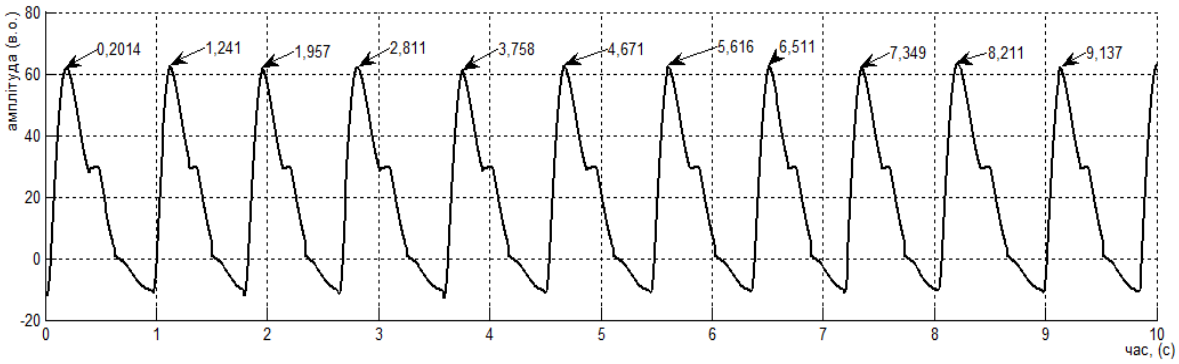


Рис. 2. Знаходження періоду сигналу за максимальними значеннями в часовій області

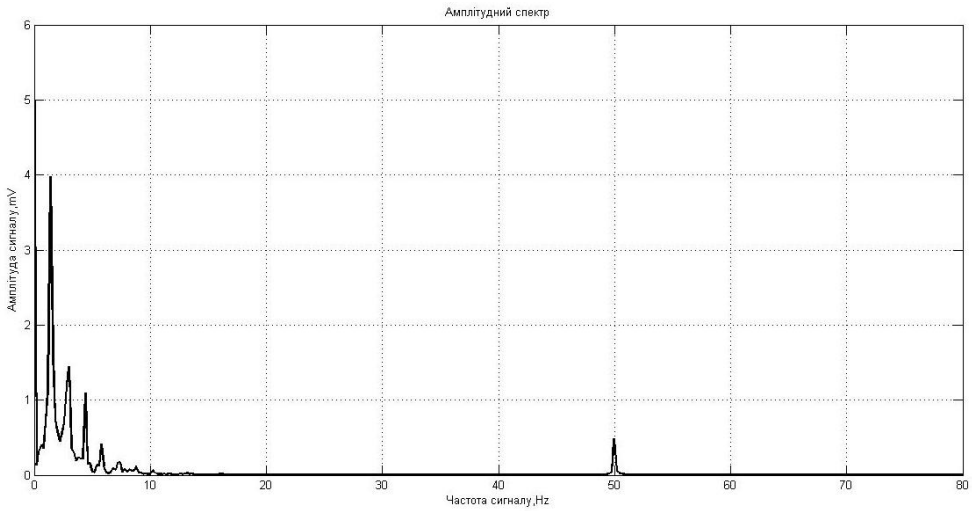


Рис. 3. Графік амплітудо-частотного спектру сигналу та шуму у частотній області

Методи статистичного опрацювання сигналу сприяють виділенню додаткових діагностичних ознак сигналу (зміна періоду, амплітуди на незначних проміжках часу), які сприяють визначенню ймовірності виникнення невідкладних станів у стоматологічній практиці.

Опрацювання фотоплетизмографічного сигналу як ПКВП процесу з дискретним часом синфазним методом полягає у тому, що сигнал розбивають на послідовність синфазних значень на гратках виду $\{n\Delta t + kN_T\Delta t, k \in Z\}$ через дискретні періоди корельованості N_T. Стаціонарна компонента відображає фазо-часову структуру сигналу в частотній області і є кількісним показником, який дає змогу оцінити сигнал у часі (1):

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{N_T}\sum_{n=0}^{N_T-1} \hat{b}_\xi(n\Delta t, u)\, e^{-\frac{j2\pi kn}{N_T}} \quad (1)$$

Усереднена оцінка кореляційних компонент характеризує фазо-часові відхилення фотоплетизмографічного сигналу (рис. 4).

В результаті аналізу усереднених оцінок встановлено, що у стані спокою оцінки змінювалися в інтервалі $[(m_1 - \sigma_1); (m_1 + \sigma_1)]$ з математичним сподіванням m_1, яке має середній рівень. ФПС, який підлягав оцінці, отримано із використанням проби Руф'є. Задача визначення відновлення серцевої ритміки за усередненими кореляційними компонентами при цьому зводиться до визначення попадання даної

компоненти $m(t_n)$ в інтервал $[(m_1 - \sigma_1); (m_1 + \sigma_1)]$ (1.2), який відповідає стану пацієнта у спокої.

$$\begin{cases} m(t_n) \in [(m_1 - \sigma_1); (m_1 + \sigma_1)] \\ p\{(m_1 - \sigma_1) < m(t_n) < (m_1 + \sigma_1)\} = max \end{cases} \quad (2)$$

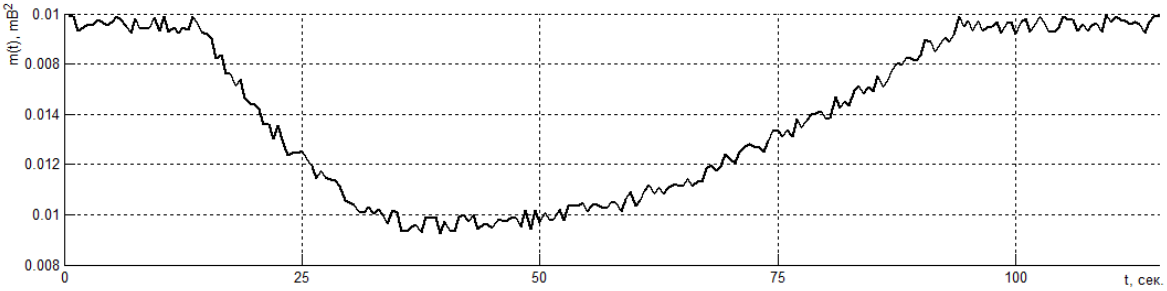


Рис. 4. Реалізація оцінок усереднених кореляційних компонент ФПС

Синфазний метод аналізу фотоплетизмографічного сигналу як ПКВП дозволяє виділити у ФПС ділянки, які свідчать про зміну серцевого ритму. Такі відхилення інформують лікаря стоматолога про вірогідність виникнення невідкладних станів при психоемоційному стресі, яким супроводжується прийом для пацієнта. Аналіз сигналу синфазним методом сприяє виявленню додаткових інформативних ознак, на основі яких лікар стоматолог може прийняти оперативне рішення про стан пацієнта при зміні стану серцево-судинної системи.

Література

1. Індекс здоров'я України-2018: Результати загальнонаціонально дослідження / Укл. Степурко Т.Г. та ін. Київ, 2018. 175 с.

2. Сучасний стан стоматологічної допомоги в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://accemedin.com/material/22/648.

3. Вагнер В. Д. Концептуальные основы дальнейшего развития общей (семейной) практики в стоматологии / В. Д. Вагнер, Б. Ц. Нимаев // Институт стоматологии. – 2005. – № 4. – С. 20–21.

4. Невідкладні стани у стоматології, що загрожують життю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://navistom.com/blog/nevidkladni-stani-v-stomatologiyi-shcho-zagrozhuyut-zhittyu-12766.html.

5. Распространенность неотложных состояний в амбулаторной стоматологической практике г. Волгограда [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.rae.ru/forum2012/pdf/1115.pdf.

6. Хвостівська Л.Б., Яворськи й Б.І. Математична модель пульсового сигналу для підвищення інформативності систем діагностики стану судин людини. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2015. Випуск 6(95). Частина 1. С.29-34.

7. Драган Я.П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів / Я.П. Драган. – Львів : Центр стратег. досліджень еко-біотехнічних систем, 1997. – 361 с.

8. Gazanhes C. Etude de modulation d'amplitude consecutive a la diffusion dune onde acoustique par une surface agitee / C. Gazanhes Marselle: L'univ.provence, 1972. – 168 p.

УДК 621.314

Володимир Яськів
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Приведено основні технічні характеристики напівпровідникового перетворювача електроенергії (НПЕ), структурну та функціональні його схеми, результати експериментальних досліджень, в т.ч. рівня електромагнітних завад (ЕМЗ) випромінювання. Обгрунтовано значно нижчий рівень ЕМЗ для НПЕ на основі високочастотних магнітних підсилювачів (ВМП) в порівнянні з традиційними.

Ключові слова: напівпровідниковий перетворювач електроенергії, високочастотний магнітний підсилювач, електромагнітна завада, зовнішня характеристика, паралельна робота.

Volodymyr Yaskiv

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF POWER CONVERTER BASED ON OF HIGH-FREQUENCY MAGNETIC AMPLIFIERS

The basic technical characteristics of the power converter, its structural and functional schemes, the results of experimental research, including level of electromagnetic interferences (EMI). Substantially lower level of EMI for power converter based on high frequency magnetic amplifiers in comparison with the traditional ones.

Keywords: power converter, high-frequency magnetic amplifier, electromagnetic interferences, external characteristic, parallel operation.

Метрологічні вимірювання рівня електромагнітних завад випромінювання розробленого на основі високочастотних магнітних підсилювачів напівпровідникового перетворювача електроенергії з вихідними параметрами 24 В, 8 А у III частотному діапазоні (30-1000МГц) за методом ANSI C3.4(специфікація FCC 15.109(g) (CISPR 22:97) Class A)).

Досліджуване джерело живлення реалізовано за структурною схемою, що представлена на рис. 1, де 1 – завадозахисний фільтр, 2 – мережевий випрямляч, 3 – пристрій заряду конденсатора, 4 – ємнісний фільтр, 5 – нерегульований високочастотний транзисторний інвертор, 6 – силовий високочастотний трансформатор, 7 – імпульсний стабілізатор постійної напруги на ВМП.

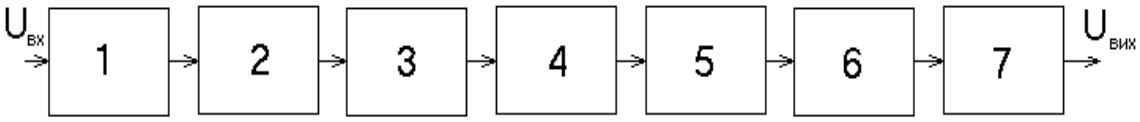


Рис. 1.

Основні технічні дані його наступні:

- вхідна напруга - 110 В +- 10%
- вихідна напруга 24 В
- струм навантаження 0…8 А
- робоча частота 50 кГц

- ККД 93 %
- загальна нестабільність вихідної напруги <0,2%
- високочастотні пульсації вихідної напруги <20 мВ
- подвійний розмах високочастотних піків у вихідній напрузі < 40 мВ
- питома потужність при природньому охолодженні >200 Вт/дм^3

В ролі високочастотного транзисторного інвертора використано розроблений нерегульований силовий автогенератор по півмостовій схемі з додатніми зворотніми зв'язками за вихідною напругою інвертора і за струмом колектора [2].

Стабілізатор вихідної напруги виконано на однообмоткових ВМП по двотактній схемі з середньою точкою. Функціональна схема такого стабілізатора подана на рис. 2.

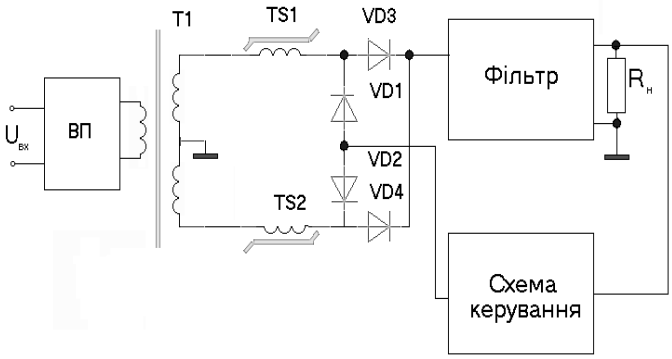


Рис. 2

Принцип роботи ВМП та аналіз процесів у стабілізаторі на ВМП, порівняльний аналіз ВМП з транзисторним ключем, переваги стабілізаторів напруги на ВМП у порівнянні з традиційними ключовими стабілізаторами детально розглянуті в літературі [3,4].

Принципову схему його реалізовано за структурою описаною в статті [5], яка грунтується на паралельній роботі окремих стабілізаторів постійної напруги при використанні спільного магнітопроводу ВМП і єдиної схеми керування для всіх стабілізаторів. Для даної вихідної потужності достатньо розбиття вихідного стабілізатора на два ідентичні.

Вимірювання напруженості електромагнітного випромінювання проводилось на відстані 3 м для двох перетворювачів: вищеописаного і аналога (США) на ту ж вихідну потужність для живлення телекомунікацій. Для співставлення отриманих результатів проведено метрологічні вимірювання рівня електромагнітних завад аналога, що використовується для живлення засобів інформаційних технологій, такої ж вихідної потужності.

Рис.3.

На рис. 3 показано вигляд експериментального зразка напівпровідникового перетворювача електроенергії для інформаційних технологій. Навантажувальна характеристика його зведена у таблиці.

Струм , А	0		3		4,8		8		Вхідна змінна напруга, V
Фільтр	*	**	*	**	*	**	*	**	
Вихідна напруга, V	24,10		24,07	24,03	24,08	24,03	24,09	24,01	100
	24,09		24,07	24,03	24,08	24,03	24,09	24,01	110
	24,09		24,07	24,03	24,08	24,02	24,09	24,01	120

* - вимірювання вихідної напруги проводиться в точці під'єднання зворотного зв'язку по напрузі (на виході високочастотного фільтру)

** - вимірювання вихідної напруги проводиться на виході джерела живлення (після додаткового вихідного завадозахисного фільтру)

З даних таблиці випливає, що нестабільність вихідної напруги в точці заведення зворотнього зв'язку менше 0,2%, що дозволяє віднести цей пристрій до класу високоточної апаратури. Зазвичай цей показник вважається хорошим, якщо він не перевищує 1%.

На рис. 4 подано осцилограми напруг на магнітних ключах та силовому високочастотному трансформаторі, зняті з контрольного витка (при струмі навантаження 4.4А та 8А відповідно). На рис. 5 показано осцилограми високочастотних пульсацій на виході перетворювача при струмі навантаження 4А та 8А відповідно.

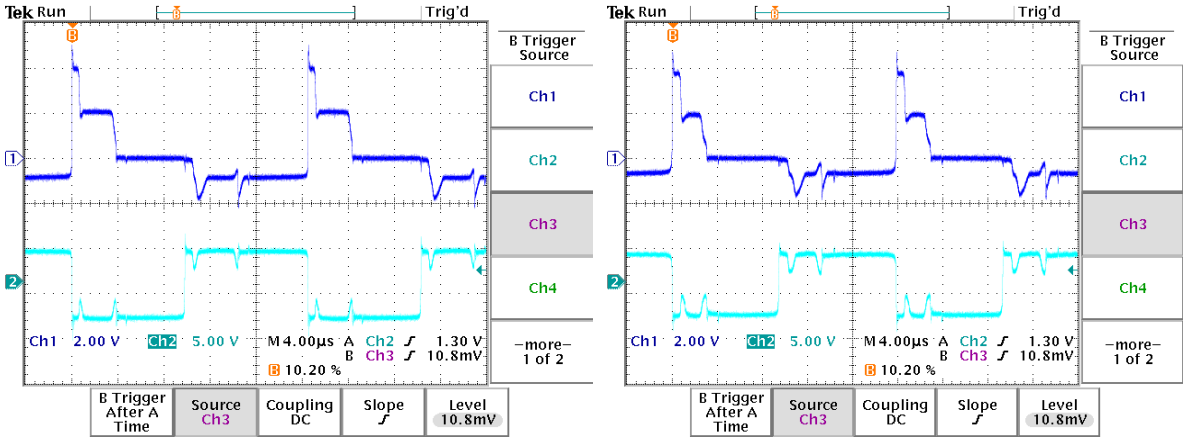


Рис. 4.

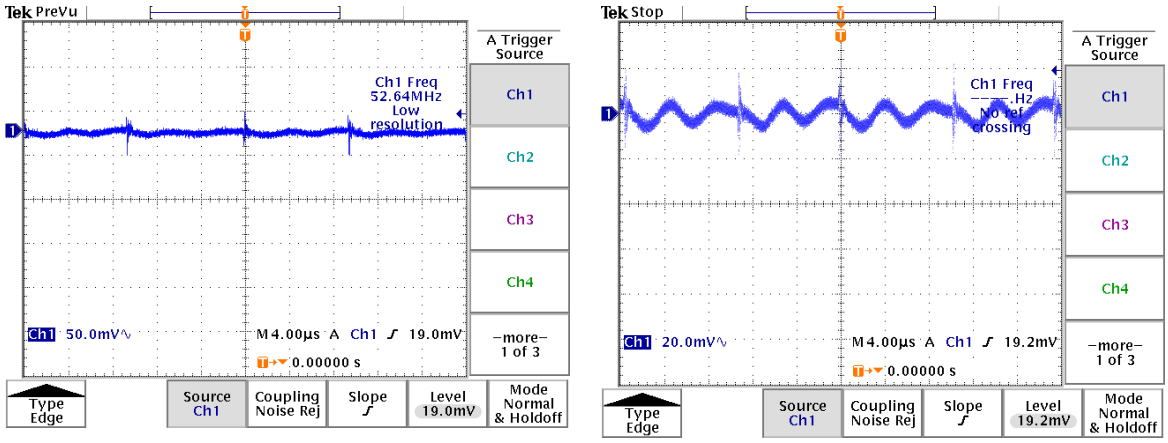


Рис. 5.

В діапазоні частот від 42 МГц до 400 МГц рівень ЕМЗ випромінювання розробленого НПЕ суттєво нижчий, ніж в аналога (так в діапазоні частот 130-200 МГц - в 4-5 разів). На частотах 400-1000 МГц рівні завад випромінювання приблизно рівні (за винятком незначного перевищення для аналога на частотах 500 МГц і 810-850 МГц).

Нижчий рівень ЕМЗ досліджуваного перетворювача пояснюється в першу чергу специфікою його схемотехнічного виконання:

- використанням в ролі силових елементів ВМП, робота яких в ключовому режимі не супроводжується появою ЕМЗ високого рівня . Крім того, сам ВМП слугує фільтром кондуктивних ЕМЗ як в насиченому, так і в ненасиченому станах;
- використанням запропонованої структури імпульсного стабілізатора постійної напруги на ВМП, в основу якої покладено паралельну робота окремих ІСН на ВМП із забезпеченням рівномірного розподілу струму навантаження між ними при використанні спільного магнітопроводу ВМП для всіх паралельно ввімкнених стабілізаторів. Таке виконання забезпечує не тільки високий рівень ККД, а й суттєво (в кілька разів) знижує рівень ЕМЗ від роботи силових діодів високочастотного випрямляча;
- відкривання силового транзистора високочастотного нерегульованого транзисторного інвертора відбувається при нульовому струмі навантаження за рахунок того, що на початку кожного півперіоду ВМП імпульсного стабілізатора постійної напруги перебуває в ненасиченому стані;
- для формування траєкторії закривання силового транзистора інвертора використано розроблений метод керування, який забезпечує його закривання при майже нульовому струмі колектора (режим подібний до режиму ключа в «квазірезонансному» перетворювачі, тільки при прямокутних формах напруги та струму, що забезпечує вищу ефективність ключа) і унеможливлює протікання наскрізних струмів в напівмостовій схемі;
- використання вихідного завадозахисного фільтра;
- використання у фільтрах високочастотних конденсаторів.

Однак в даній схемотехніці відсутнє використання традиційних демпфуючих ланок (snubber circuits), що також позитивно впливає на кінцеве значення ККД перетворювача.

При розробці конструкції використано традиційні методи зниження рівня ЕМЗ:

- перетворювач розміщений в корпусі, який одночасно слугував екраном;
- максимально можливо короткі шляхи для протікання силового струму;
- правильна організація заземлення.

Література

1. Подавление электромагнитных помехв цепях электропитания / Г.С.Векслер, В.С.Недочетов, В.В.Пилинский и др. – К.: Тэхника, 1990. - 167 с.
2. Яськів В.І. Математична модель імпульсного стабілізатора напруги на магнітних ключах // Технічна електродинаміка. – 2002. - №6. - С. 20-22.
3. Яськив В.И. Использование высокочастотных магнитных усилителей в источниках питания аппаратуры космического назначения // Космічна наука і технологія. Додаток до журналу. – 2003. – Т. 9, № 2. – С. 331-337.
4. Yaskiv V. Using of High-Frequency Magnetic Amplifier in Switch Mode DC Power Supplies // Proceedings of the 35th Annual IEEE Power Electronic Specialists Conference (PESC'04), Aachen, Germany, 2004, P. 1658-1662.
5. В. І. Яськів, М. М. Юрченко. Методи побудови напівпровідникових перетворювачів електроенргії з високим рівнем струму навантаження на основі високочастотних магнітних підсилювачів // "Технічна електродинаміка", Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність», частина 2, 2006. – С 3-6.

Секція: АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМПЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

Керівники: проф. Павло Марущак, доц. Андрій Микитишин

УДК 621.326

Хальдун Араффа
Національний технічний університет України «Київский політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЛЯ НИЖНІХ КІНЦІВОК ДВОНОГИХ РОБОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕВЕРНУТОГО МАЯТНИКА

Мета планування траєкторії полягає в тому, щоб сформувати опорний рух для систем управління рухом двоногих роботів і дати можливість роботові слідувати заданій заданій траєкторії під час руху.

Ключові слова: двоногі роботи, планування траєкторії, 3D слідкування, модель інвертованого маятника

Khaldon Araffa

PLANNING TRAJECTORY FOR THE LOWER LIMBS OF BIPEDAL ROBOT USING INVERTED PENDULUM

The purpose of planning trajectory is to generate a reference motion for the control systems of the movement of the bipedal robot and to enable the robot to follow a given predeifind trajectories during the movement.

Keywords: Bipedal Robots, Planning trajectory, 3D walking, model inverted pendulum

The aim of this paper is to present afull 3D walking strategyusingdynamic model of 3D inverted pendulum for generation references joint trajectories with simulation also design a control system that granites a stable walking of Biped Robot.

This is done by first reviewing the literature about different walking strategies. During this literature review the 3D-Linear Inverted Pendulum Model appeared to be the most interesting strategy for further research.

Also, in scientific research, it is also used as a simple model of the human walk. The 3D-LIPM generate a trajectory for the general CoM from which the joint angles can be computed

The idea of the strategy is simple. It models the human as a linear inverted pendulum with massless rods, which represent the legs, and a point mass at the end of the rods representing the total mass of the body. During walking, there is always at least one foot on the ground which can be seen as stance leg. This stance leg is then modeled as an inverted pendulum. The general closed form solution of the dynamics of the linear inverted pendulum are used to design a trajectory for the center of mass(CoM) for stance leg.

In the trajectory generator, the general solution of the 3D-LIPM is used to prescribe a trajectory. for the CoM of the biped robot AK.

The trajectory of the swing leg is designed by a cosine velocity profile interpolation function. The gait of a biped robot is divided into different phases with each its own function and each it owns initial and desired end position and orientation. Point to point interpolation functions plan a gait between the initial position and orientation posture and the desired end position and orientation posture. By stitching these phases together, trajectories for the CoM

and swing foot are designed. Inverse kinematics is used to convert the CoM and swing foot trajectory into joint trajectories.

The joint trajectories are used as the input for a dynamic model of biped robot in SimMechanics. The proposed control system in simulation are carried out to tune the trajectory such that the dynamic model is able to walk balanced and the robustness of the gait was verified by adding of disturbances. For example, the position of the CoM was increased or decreased and the steps were simulated with different ground levels. These simulations showed that the trajectory is relatively robust Fig.1.

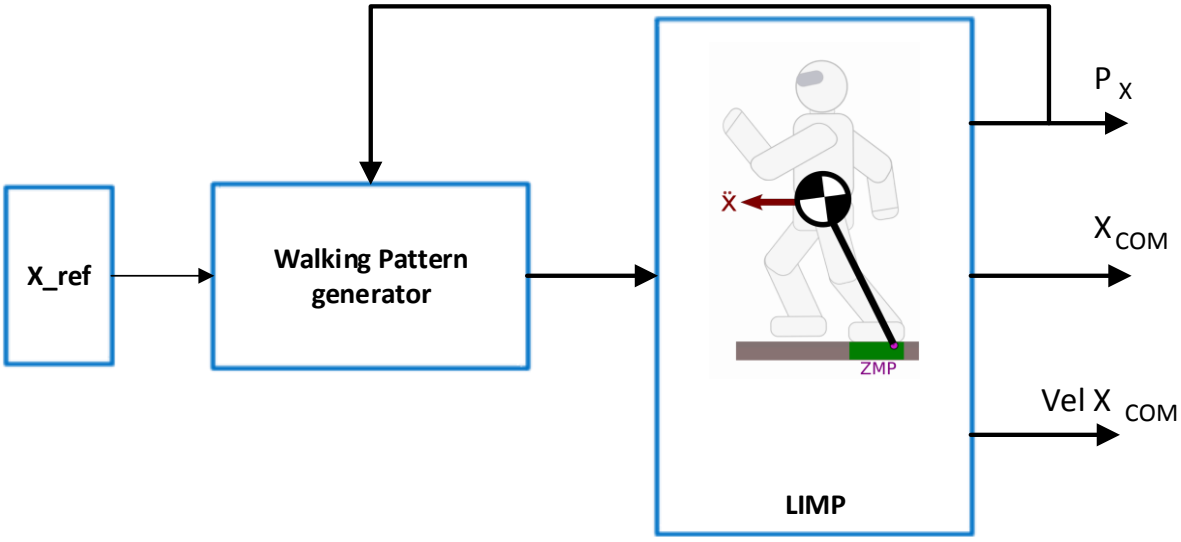


Fig. 1. Simulations trajectory is relatively robust

The trajectory of the Center of Mass along the X axis using linear inverted Pendulum model (LIMP)

For further research on improving a 3D-LIPM trajectory planner for AK robot, it would be interesting to look if it is possible to use a learning control algorithm. The desired steps of AK robot are always the same, and experiments show that also the error repeats every step. This can be used in an iterative learning control architecture.

References

1. Bauby C. and Kuo A. Active control of lateral bal- ance in humanwalking // Journal of Biomechanics. – 2000. – Vol. 33. – P. 1433– 1440.
2. Capi locomotion in 3D. in Proceedings of the Conference on Biomechanics and Neural Control of Movement, pp. 28– 29.
3. Mx-28. Website, 2010. http://support.robotis.com/en/product/dynamixel/rx_series/mx-28.htm.
4. Abe Y., da Silva M., and Popovic J. Multiobjective control with frictional contacts. In Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, 2007. - P. 249-258.

УДК 519.85

Батюк Віталій, Михайло Стрембіцький, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Запропоновано спосіб побудови навігаційної системи автономного мобільного робота для слідування по заданому маршруті. Розроблено блок-схему алгоритму оминання перешкод. Проведено аналіз давачів відстані та розроблено алгоритм опрацювання від них інформації.

Ключові слова: мобільний робот, алгоритм руху, навігаційна система.

Vitalii Batiuk, Mykhailo Strembitskiy

CONSTRUCTION OF AN AUTONOMOUS MOBILE ROBOT CONTROL ALGORITHM

A method of constructing a navigation system of a stand-alone mobile robot for following a given route is proposed. A block diagram of an obstacle avoidance algorithm is developed.

Keywords: automatic robot, algorithm of movement, navigation system.

Вступ. В інформаційних системах мобільних роботів виділяється коло завдань, пов'язаних з обробкою інформації сенсорних систем в реальному часі. В ряді випадків більша частина завдань вирішується використанням систем технічного зору (СТЗ). Однак використання СТЗ в режимі реального часу вимагають грамотного вибору апаратного, алгоритмічного та програмного забезпечення для реалізації. Крім того, сенсорна система роботи не обмежується СТЗ, на борту автономної платформи також передбачають ряд давачів, які доповнюють інформацію про зовнішнє середовище для більш ефективної відпрацювання завдань.

Мета роботи полягає у побудові алгоритму керування автономним мобільним роботом, а саме пересування і огинання знайдених перешкод, які знаходяться на шляху переміщення.

Об'єктом дослідження виступає спроектований автономний робот в якому використовується для навігації система давачів для визначення шляху пересування і знаходження перешкод.

Навігаційна система складається з трьох основних давачів відстані GP2Y0A21YK [1, 2], покази яких використовуються для керування сервоприводом, а також одного додаткового давача GP2Y0A02YK із збільшеним діапазоном вимірювання який дозволяє використати змінну швидкість на окремих ділянках траси при відсутності перешкод.

До основних давачів відносяться:

- передній давач, який визначає відстань до перешкоди, допомагає ухилитись від перешкоди спереду і увійти вчасно в поворот без зіткнень з перешкодою;
- правий і лівий давач, які розміщені під кутом 45° відносно переднього таке розміщення забезпечує більший діапазон площі, яку може охопити давач це дає нам максимальну інформацію щодо розміщення навколишніх об'єктів.

До додаткових відноситься передній дальній давач, який на прямих ділянках без перешкод дає змогу використовувати прискорення.

Схема розташування давачів показано на рис 1.

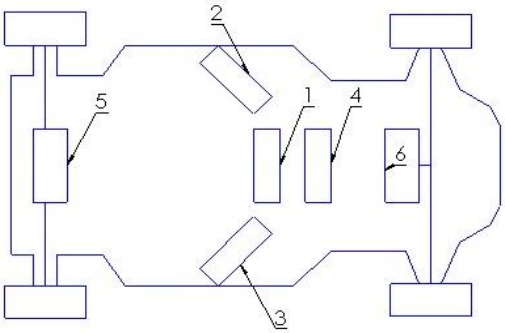
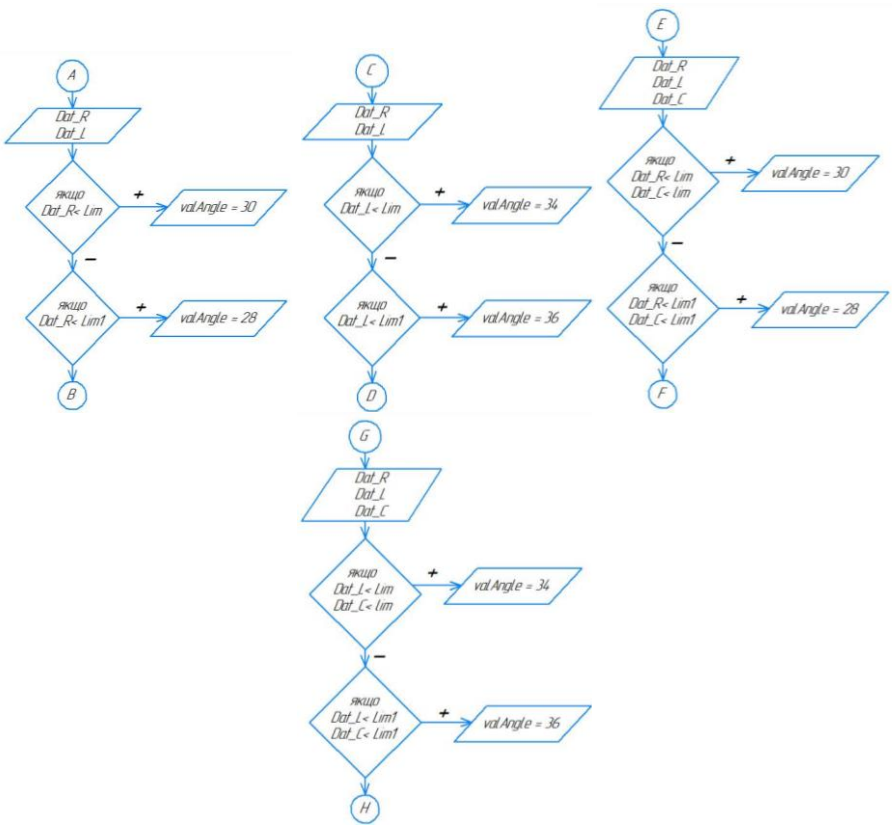


Рис. 1. Схема розташування давачів автономного мобільного робота

Алгоритм пересування робота полягає в формуванні простих функцій при яких здійснюється поворот, гальмування або розгін робота. Насамперед для зручності складання функцій і збільшення якості обробки інформації давачів вказано діапазон роботи при якій опрацьовуються покази з давачів.

Функції повороту мобільного робота складаються з поєднанням переднього, лівого і правого давача в залежності від повороту який нам потрібно здійснити. Приклад функцій повороту з використанням одного правого давача зображено на рис 2.



а) б) в) г)

Рис. 2. Блок-схеми алгоритмів опрацювання показів давачів і встановлення позиції кута повороту коліс: а) орієнтація по правому давачу відстані; б) орієнтація по лівому давачу відстані; в) орієнтація по правому та центральному давачу відстані; г) орієнтація по лівому та центральному давачу відстані.

де Dat_R – правий давач, Dat_L – лівий давач, Dat_C – центральний давач, Lim – задано відстанню роботи давача, val Angle = 30 – сервоприводу встановлено відповідний кут для повороту коліс.

До певної відстані давача присвоєно розрахований кут повороту сервопривода, таким чином створено декілька функцій для показів одного або декількох давачів, щоб здійснювати максимально плавний поворот.

Аналогічним методом проведено опрацювання показів переднього і бокових давачів. Передній давач дозволяє визначити відстань до перешкоди попереду, що дає змогу вчасно здійснити маневр і з більшою точністю визначити місце знаходження перешкоди або зміни напрямку руху.

Для зменшення часу проходження довгих ділянок без перешкод реалізовано прискорення, яке розраховується із показів переднього дальнього давача, оскільки він має більший діапазон роботи.

На рис. 3 показано моделювання алгоритму роботи для розрахунку встановлення кута повороту коліс залежно від наближення до перешкоди. На діаграмі Ряд 1 – значення показу бокового лівого давача, Ряд 2 – кут повороту коліс для відслідковування перешкоди зліва, Ряд 3 – значення показу бокового правого давача, Ряд 4 – кут повороту коліс для відслідковування перешкоди справа.

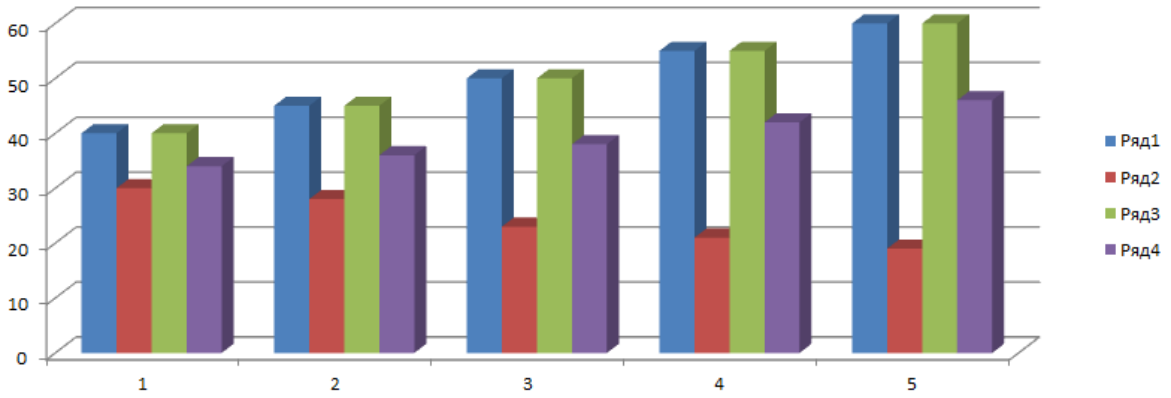


Рисунок 3 – Моделювання розрахунку встановлення кута повороту коліс відносно відстані до перешкоди

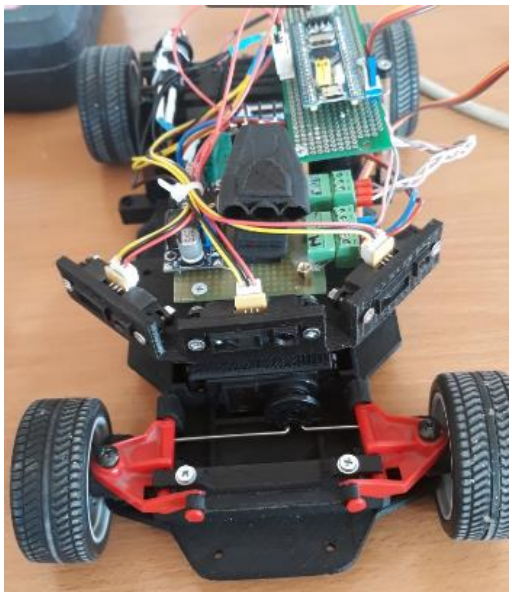


Рис. 4. Конструкція автономного мобільного робота

Висновки. Даний алгоритм автономного мобільного робота дозволяє вибрати оптимальний маршрут руху робота з незначною втратою швидкості. Оскільки за допомогою вище наведених функцій можна змоделювати більшість випадків.

Література

1. Білоус Є.І Безконтактні датчики відстані для розробки лабораторного стенду [Текст] // Метеріали IX науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 17-18 квітня 2016 року, НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна – с. 16.

2. Пономарева А.В Исследование возможностей сенсорной системы Festo Robotino / А.В. Пономарева, И.О. Яшков, С.И. Теслюк, Д.В. Зеленов // Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Технология приборостроения № 3, 2016. – с. 33 - 35.

УДК 004.932; 658.562.4

Роман Галаган, к.т.н., доц., Александр Муравьёв, к.т.н., Александр Томашук, аспирант

Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского, Украина

МОДЕЛЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЗ СМАЗАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА И ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

В работе предложена модель процесса восстановления серии изображений из смазанного изображения дифракционной картины, которая была образована с помощью подсвечивания точечным источником нагретого протяженного изделия.

Ключевые слова: восстановление изображения, смазанное изображение, расфокусирование, диаметр, температура.

Roman Galagan, Alexander Muraviov, Alexander Tomashuk

MODEL OF RESTORATION OF A SERIES OF IMAGES FROM A MOTION-BLURRED IMAGE TO SOLVE THE TASK OF A HIGH-ACCURATE MEASUREMENT OF DIAMETER AND TEMPERATURE OF RADIATIVE OBJECTS

In this paper, a model of the process of reconstructing a series of images from a blurred image of a diffraction pattern, which was formed by backlighting an extended heated product with use a point source, was proposed.

Keywords: image recovery, motion-blurred image, defocusing, diameter, temperature.

1. Построение смазанного изображения оптическим устройством.

На сегодняшний день проблемой является проведение высокоточных измерений диаметра и температуры поверхности протяженного изделия в процессе его высокотемпературного изготовления [1].

Бюджет для проведения научных исследований не всегда удовлетворяет их требованиям.

Для проведения исследований быстро протекающих процессов, таких как бесфильерное волочение проволоки, необходимы приемники оптического излучения (КМОП-/ПЗС- матрицы), которые способны за короткий интервал времени сформировать четкое изображение нагретого изделия. Однако, такие приемники, как правило, имеют довольно высокую стоимость [2]. Следовательно, встает вопрос о применении экономически доступных приемников излучения, скорость формирования изображения в которых, на сегодняшний день, достигает 330 кадров в секунду [3].

Основной проблемой является смазанное (размытое движением) изображение нагретого изделия, при традиционной обработке которого довольно сложно производить процедуры измерения диаметра и температурного распределения по поверхности. В случае, если необходимо произвести высокоточные измерения обоих параметров, то без восстановления серии действительных изображений не обойтись.

Поэтому важнейшей процедурой является обработка смазанного изображения для получения серии действительных изображений. В данной работе кратко рассматриваются модель и известные методы, которые направлены на восстановление смазанных изображений.

2. Модель процесса искажения/восстановления изображения.

Стандартная модель процесса искажения/восстановления изображения по смазанному изображению показана на рисунке 1 [4]. В пространственной области, искаженное изображение *g(x,y)* со стороны приемника излучения на основе данной модели описывается как

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) + \eta(x,y), \quad (1)$$

где h – восстанавливающий оператор (фильтр); η – оператор шума; f – плоскость предмета; x, y – координаты в плоскости изображения.

Однако, в стандартной модели не учитывается несколько факторов. Смазывание изображения вследствие перемещения объекта не является оптической аберрацией, поэтому не может рассматриваться в блоке искажающего оператора, а, следовательно, имеем серию изображений, заключенных в одном (архив), которые были просуммированы в течении экспозиции. Такой процесс может трактоваться как сжатие информации. После процедуры обработки, результатом может стать повышение частоты кадров в секунду.

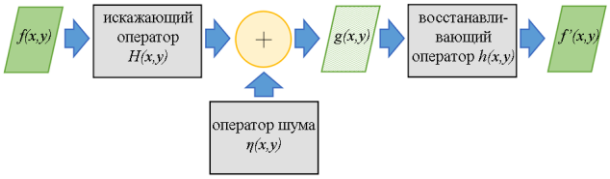


Рис. 1. Стандартная модель процесса искажения/восстановления изображения

На рисунке 2 показана предложенная модель процесса искажения с последующим восстановлением информации из смазанного изображения, которое представлено своего рода архивом.

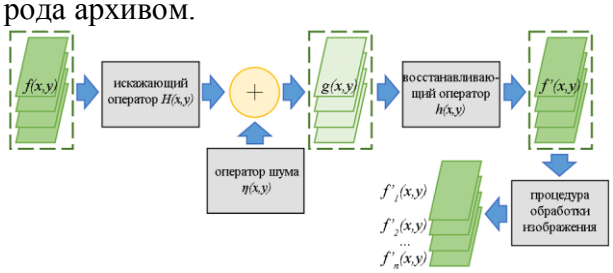


Рис. 2. Предложенная модель процесса искажения и восстановления изображения

3. Традиционные методы восстановления изображений из смазанных изображений.

К традиционным методам восстановления изображений из смазанных изображений можно отнести следующие методы и фильтры:

- инверсная фильтрация;
- винеровская фильтрация;
- тихоновская регуляризация;
- среднегеометрический фильтр;
- реконструкция изображения по проекциям.

4. Совершенствованные методы восстановления изображений из смазанных изображений.

За последние годы было опубликовано множество результатов научных исследований, целью которых являлось восстановление действительных изображений из смазанных изображений.

Наиболее привлекательными среди них в контексте решения нашей проблемы являются работы Освальд-Транта Б. и Сизикова В. С. и др. [5-7].

В работах [5, 6] было проведено исследование по восстановлению изображения из смазанного, которое было построено с помощью оптической системы и матрицы микро-болометров. Главной задачей исследования было установление температуры поверхности быстродвижущегося объекта. В работе было показано, как экспоненциальный коэффициент функции рассеяния точки может быть рассчитан, если известны скорость движения объекта и разрешение матрицы приемника излучения.

5. Достоинства и недостатки применения вышеописанных методов.

Большинство традиционных методов и тех, что были усовершенствованы, используют стандартную модель, которая показана на рисунке 1. На основе такой модели из смазанного изображения получают в качестве результата восстановления одно изображение.

Такой подход может быть связан с тем обстоятельством, что в восстанавливающем операторе зачастую отсутствует информация относительно скорости V передвижения объекта и времени t формирования изображения приемником излучения (экспозиции).

Следовательно, для процедуры обработки изображения, необходимы следующие параметры:

- скорость V передвижения объекта;
- дистанцию по осям X и Y, на которую объект переместился;
- дистанцию по оси Z, на которую объект переместился (подсветка изделия с помощью точечного источника);
- общее время t экспозиции приемника излучения;
- направление движения объекта.

Располагая такой информацией, существует возможность применения специального метода обработки смазанного изображения для получения серии восстановленных изображений.

Выводы. Решение задачи высокоточного определения диаметра и температуры излучающих объектов на основе оптических методов требует наличия их качественного изображения. В случае, если объект даже незначительно перемещается в пространстве, такое изображение получить крайне сложно. Предложенный в работе метод восстановления серии изображений из смазанного изображения позволяет не только получить серии действительных изображений, но и повысить частоту кадров приемника излучения.

Литература

1. Method and device for testing the parameters of the wire from NiTi alloy in the high-temperature manufacturing process with use an inert gas / R. Galagan, A. Muraviov, A. Tomashuk // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 537. (pre-print)

2. Edmund optics. 75 years of optics. 2017 master source book. – 2017. – 483 p.

3. OmniVision OV4689. 4 MP product brief [Electronic resource]. – 2019. – URL: https://www.ovt.com/download/sensorpdf/136/OmniVision_OV4689.pdf

4. Гонсалес Р. С. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. С. Гонсалес, Р. С. Вудс. – Москва : Техносфера, 2012. – 1104 с.

5. Oswald-Tranta B. Motion deblurring of infrared images / Oswald-Tranta B. // SENSORS 2017 and IRS 2017. – 783-787 pp. DOI: 10.5162/irs2017/i3.1

6. Oswald-Tranta B. Temperature reconstruction of infrared images with motion deblurring // Journal of Sensors and Sensors Systems. – 2018. – Vol. 7. – 13-20 pp.

7. Sizikov V. Reconstruction of images smeared uniformly and non-uniformly [Electronic resource] / V. Sizikov, A. Dovgan. – April, 2019. – 11 p. – URL: https://www.researchgate.net/publication/332765850_Reconstruction_of_images_smeared_uniformly_and_non-uniformly

УДК 681.518.3: 621.64

Роман Джала, д.т.н., Богдан Вербенець, к.т.н., Мар'ян Мельник, к.т.н., Юрій Пугач, Оксана Семенюк, Олег Сенюк, Орест Червінка
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Україна

НОВІ ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАНЬ СТРУМІВ І ПОТЕНЦІАЛІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Прилади безконтактних вимірювань струмів та вимірювань електричних напруг і поляризаційного потенціалу з визначенням координат, з мікропроцесором та комп'ютерним опрацюванням результатів суттєво підвищують оперативність та інформативність неруйнівного контролю підземних трубопроводів.

Ключові слова: прилади, вимірювання, струм, потенціал, трубопровід, корозія.

Roman Dzhala, Bohdan Verbenets', Maryan Mel'nyk,
Yuri Puhach , Oksana Semenyuk, Oleh Senyuk, Orest Chervinka

NEW DEVICES FOR MEASUREMENTS OF CURRENCIES AND POTENTIALS FOR DIAGNOSTIC OBSERVATIONS OF UNDERGROUND PIPELINES

Devices for contactless measurement of currents and measurements of electric voltages and polarization potential with determination of coordinates, with microprocessor and computer processing of results considerably increase the efficiency and informativeness of underground pipelines non-destructive testing.

Keywords: device, measurement, current, potential, pipeline, corrosion, testing.

Діагностичні обстеження підземних металевих трубопроводів (ПТ) традиційно проводять контактними електрометричними методами і приладами, основними недоліками яких є значна трудомісткість та недостатня інформативність. Ці недоліки усуваються застосуванням безконтактних методів і приладів, з яких на даний час найбільше використовують лише індуктивні трасошукачі [1].

Безконтактні вимірювання струмів (БВС), збуджених у ПТ установкою катодного захисту (УКЗ) або генератором тестувального струму, дають змогу оперативно перевіряти і контролювати захист від корозії на різних ділянках ПТ [1]. Застосування БВС дають інтегральні, диференційні і локальні оцінки стану протикорозійного захисту ПТ з метою визначення потреб, видів і обсягів ремонту для запобігання пошкоджень і продовження експлуатації ПТ.

За розвинутими у ФМІ НАН України теоретичними основами методу БВС розроблено базу для проектування систем вхідних перетворювачів апаратури БВС ПТ [1]. Серед диференційних БВС виділено класи градієнтних і паралаксних методів, проаналізовано і зіставлено їх інформативні, метрологічні, технологічні характеристики. Запропоновано нові методи БВС з азимутальною і радіальною орієнтаціями бази точок спостереження, з довільним розміщенням бази у поперечній ПТ площині (з компонентними і модульними первинними перетворювачами). Розміщення сприймачів магнітного поля для названих способів БВС схематично показані на рис. 1. Встановлено можливість використання надлишкової інформації у вхідних даних для "внутрішньої" оцінки похибок вимірювань координат і струму.

Запропоновано низку нових способів і пристроїв БВС. Для оперативних обстежень ПТ за вказаним на рис. 1 способом *4* було створено апаратуру БІТ-КВП [1], яка дає змогу визначати місце, напрям і глибину залягання трубопроводів і струмопровідних комунікацій та вимірювати силу змінної компоненти струму УКЗ з корекцією рельєфної похибки без підключення до трубопроводу і землі. Ця апаратура додатково споряджена

вольтметром для традиційних контактних вимірювань і електронною пам'яттю. Результати вимірювань через інтерфейс за спеціальною програмою переводяться у персональний комп'ютер для автоматичного опрацювання і документування.

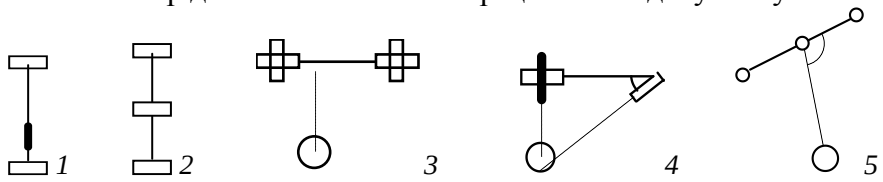


Рис. 1. Способи БВС: *1, 2* – радіальні (градієнтні, різницеві); *4* – азимутальні (паралаксні); *3, 5* – інваріантні.

За результатами натурних випробувань і використань апаратури типу БІТ-КВП розроблено схеми (рис. 2), за якими виготовлено зразки нової апаратури типу БВС-2, загальний вигляд якої показано на рис. 3.

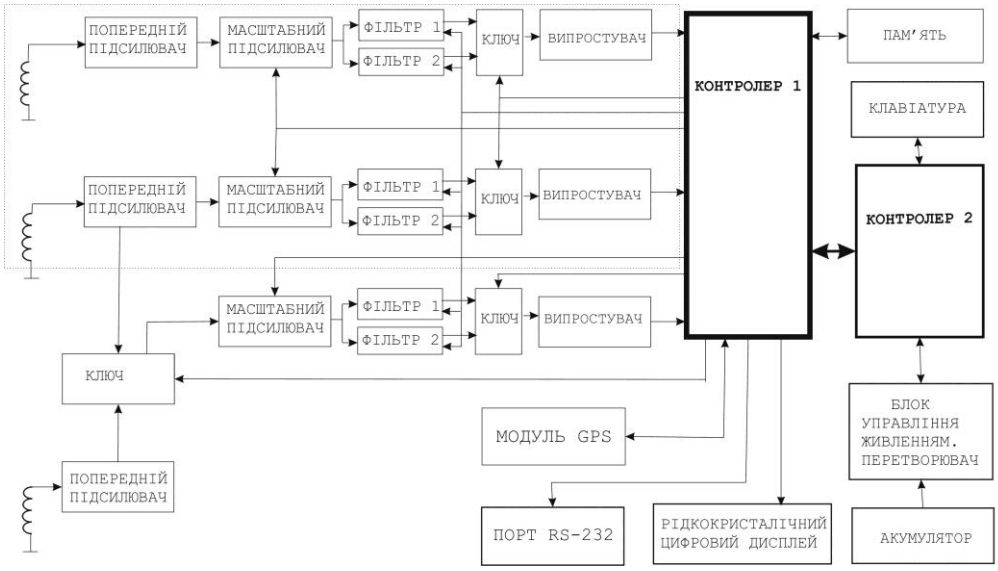


Рис. 2. Блок-схема апаратури безконтактних вимірювань струму і координат ПТ.

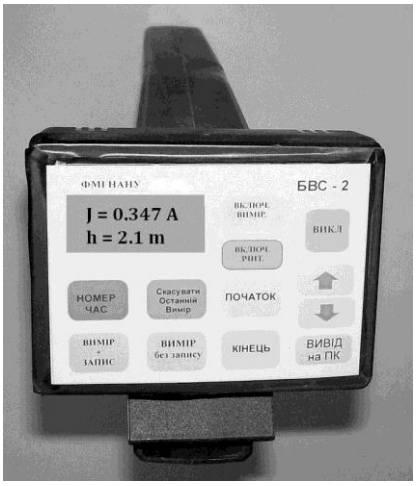


Рис. 3. Панель управління апаратури БВС-2 для безконтактних вимірювань струму *J* і глибини *h* залягання підземного трубопроводу; споряджена GPS, пам'яттю та інтерфейсом до КП.

Для контролю електрохімічного захисту від корозії ПТ та інших металевих конструкцій розроблено нову апаратуру одночасних вимірювань постійних і змінних електричних напруг та поляризаційного і омічного потенціалів типу ВПП [1, 2]. Функціональна схема ВПП показана на рис. 4.

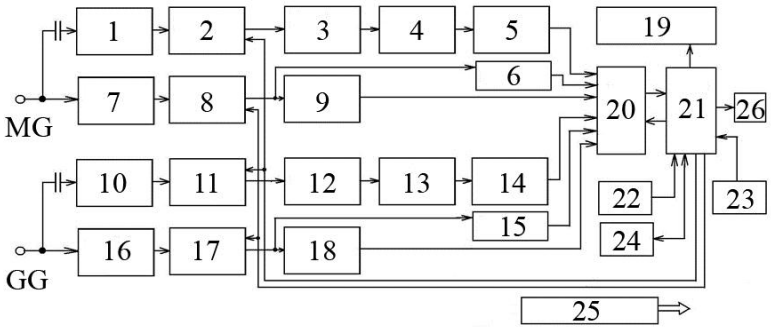


Рис. 4. Функціональна блок-схема апаратури для вимірювань постійних і змінних електричних напруг та визначення поляризаційного потенціалу ВПП-М:
1, 10 – високоомні вхідні підсилювачі; 2, 8, 11, 17 – масштабні підсилювачі;
3, 12 – смугові фільтри; 4, 9, 13, 18 – детектори; 5, 14 – випрямлячі;
6, 15 – детектори полярності; 7, 16 – прецизійні підсилювачі;
19 – цифровий дисплей; 20 – аналогово-цифровий перетворювач;
21 – мікропроцесор; 22 – модуль позиціонування GPS; 23 – клавіатура,
24 – пам'ять; 25 – блок живлення; 26 – вихід на комп'ютер.

Поляризаційний потенціал, який вимірює ВПП за новим методом [1, 2] є головним критерієм для контролю електрохімічного катодного захисту від корозії металу в електропровідному середовищі. Крім цього, прилад ВПП забезпечує можливість знаходити пошкодження ізоляції як на змінному струмі (метод Пірсона), так і за різницею потенціалів на поверхні ґрунту (метод поперечного градієнта).

Використання у створеній апаратурі БВС-К і ВПП-М модуля глобального позиціонування GPS забезпечує автоматичне визначення географічних координат і часу вимірювань струму і глибини ПТ та потенціалів, що значно полегшує опрацювання і документування результатів обстежень, зокрема, під час визначення розподілів вздовж траси густини струму, його витрат і перехідного опору «труба-земля» на різних ділянках ПТ.

БВС у комплексі з ВПП додатково [3] дають змогу визначати розподіли густини постійної компоненти струму катодного захисту УКЗ, питомого опору ґрунту, що оточує трубопровід (показник агресивності середовища), та питомого опору ізоляційного шару і поляризаційного опору ПТ.

Література.

1. Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: Довідниковий посібник / За заг. ред. З.Т. Назарчука – Т. 4: Електрофізичні методи неруйнівного контролю дефектності елементів конструкцій / Р. М. Джала, В. Р. Джала, І. Б. Івасів, В. Г. Рибачук, В. М. Учанін / За ред. Р.М. Джали. – Львів: Простір-М, 2018. – 356 с.

2. Dzhala R. M., Verbenets' B. Ya., Melnyk M. I. Measurement of electrical potentials for diagnosing corrosion protection of metal structures // Materials Science. – 2016. – Vol. 52, № 1. – P. 140-145. DOI: https://doi.org/10.1007/s11003-016-9936-y

3. New methods for the corrosion monitoring of underground pipelines according to the measurement of currents and potentials / R.M. Dzhala, B.Ya. Verbenets', M.I. Mel'nyk, A.B. Mytsyk, R.S. Savula, O.M. Semenyuk // Materials Science. Vol. 52, № 5. March 2017. P. 732-741. DOI: https://doi.org/10.1007/s11003-017-0016-8

УДК 517.95

Ігор Добротвор, д. т. н., доц.
Тернопільський національний економічний університет, Україна

ХАРАКТЕРИСТИКА КІНЕТИКИ МІКРОСТРУКТУР КОМПОЗИТІВ УМОВАМИ КОЛИВНОСТІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

Розглянуто характеристики динаміки поширення зовнішніх поверхневих шарів у композитах, як розв'язки звичайних диференціальних рівнянь вищих порядків та деяких типів рівнянь в частинних похідних із оператором Лапласа-Бельтрамі в просторах постійної кривини. Отримані достатні умови коливності розв'язків даних типів рівнянь для областей досліджуваних просторів в термінах коефіцієнтів (змінних чи постійних) цих рівнянь.

Ключові слова: поширення, кривина, розв'язок, коливність, усереднення.

Igor Dobrotvor

CHARACTERISTICS OF THE COMPOSITES MICROSTRUCTURE KINETICS OF THE DIFFERENTIAL EQUATIONS QUALITY CONDITIONS

The characteristics of the propagation dynamics of external surface layers in composites as solutions of ordinary differential equations of higher orders and some types of equations in partial derivatives with the Laplace-Beltrami operator in the spaces of constant curvature are considered. Sufficient conditions for the variation of the solutions of these equations types for the domains of the studied spaces are obtained in terms of coefficients (variables or constants) of these equations.

Keywords. distribution, curvature, solution, oscillation, averaging.

Ряд технологічних задач описують динамічні процеси формування мікроструктур в ході фізико-хімічних змін у полімерах [1]. Динаміка деяких процесів зшивання епоксипластів, зокрема поширення зовнішніх поверхневих шарів при наявності дисперсного чи волокнистого наповнювачів у композитних матеріалах може бути змодельована рівняннями, змінні яких міняються в просторах постійної кривини. За звичай під ними розуміють простори з евклідовою геометрією, проте існують і інші простори з кривиною відмінною від нуля і постійною для всіх точок простору, геометрії називають гіперболічними і сферичними. Такі геометрії реалізуються на добре відомих поверхнях евклідового простору. У випадку гіперболічної геометрії – це псевдосфери, а у випадку сферичної геометрії – звичайні сфери. Кривина сфери є постійною додатною величиною, а у псевдосфери - від'ємна.

Математичні моделі реальних процесів, зокрема задачах проблем кінетики мікроструктур епоксикомпозитів часто є зручним описувати диференціальними рівняннями, змінні яких вимірюються не лише в евклідовому просторі але і в інших просторах.

В приведених дослідженнях властивостей розв'язків диференціальних рівнянь будемо користуватись в основному слідуючими просторами: E^n – евклідовим, кривина якого рівна нулю; H^n – Лобачевского з від'ємною кривиною; S^n – сферичним, кривина якого додатня; тут n у всіх просторах вказує на розмірність. Не применшуючи загальності, в подальшому будемо вважати, що кривини просторів H^n і S^n рівні відповідно -1 та +1.

Однією із найважливіших проблем є питання коливності розв'язків [2]. Історично це питання вивчається давно і пов'язане, як правило, із вивченням розв'язності краєвих задач для диференціальних рівнянь. Відомо, що перетворення в

нуль розв'язків диференціальних рівнянь другого порядку вказує на можливість розв'язності відповідної краєвої задачі. Така інтерпретація дозволяє узагальнити поняття коливності (осциляції) і на об'єкти більш складні, ніж скалярні рівняння, наприклад системи диференціальних рівнянь або рівняння з частинними похідними із змінними, що належать любому із вище згаданих просторів.

Означення 1. Розв'язок $y(t)$ скалярного рівняння

$$y'' + p_1(t)y' + p_2(t)y = 0, \tag{1}$$

де $t \in J$, $J = [a, \omega)$, $\omega \le \infty$ будемо називати осциляційним на інтервалі J, якщо знайдуться хоча б дві точки t_1 і t_2 із інтервалу J, в яких $y(t)$ набуває нульових значень, і не осциляційним у противному випадку.

Означення 2. Рівняння (1) будемо називати неосциляційним на інтервалі J, якщо всі його розв'язки є неосциляційними на J, і осциляційним в противному випадку.

Під коливним розв'язком на нескінченному інтервалі розуміють розв'язок із нескінченною кількістю нулів і неколивним, якщо кількість нулів є скінченною. Для лінійних рівнянь поняття коливних і осциляційних рівнянь є практично тотожними.

При дослідженні коливності рівнянь з частинними похідними, зокрема еліптичних рівнянь другого порядку

$$\sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}(X)\frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_j} + \sum_{i=1}^{n} b_i(X)\frac{\partial u}{\partial x_i} + c(X)u = f(X), \tag{2}$$

де $X \in D \subset E^n$, а коефіцієнти (5.2), наприклад, із класу *C(D)* виникають значні труднощі, які стосуються означення коливності розв'язків, пов'язані із вивченням поведінки розв'язку в області зміни.

Означення 3. Розв'язок $u(X)$ рівняння (5.2) , будемо називати коливним в області D, якщо в ній знайдеться замкнута вузлова лінія Γ, і неколивним у противному випадку.

Більш продуктивним означенням коливності для рівнянь вищих порядків на наш погляд є підхід до вивчення розв'язків на многовидах. Так, для рівнянь еліптичного типу (не залежно від його порядку) вводиться на розгляд функція усереднення

$$M_r[u(X), P_0] = \frac{1}{\omega_n r^{n-1}} \iint_{S_r} u(X)dS, \tag{3}$$

де ω_n - площа n – вимірної сфери одиничного радіуса, S_r – сфера радіуса r з центром у деякій фіксованій точці $P_0 \in D$. В подальшому, де це не викликатиме сумнівів, усереднення (5.3) будемо записувати коротко: *M(r)*.

Означення 4. Розв'язок *u(X)* рівняння

$$\Delta u + f(X, u, u'_x) = 0, \tag{4}$$

де $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}$ - оператор Лапласа, будемо називати коливним в необмеженій області із E^n, якщо для любого r в області $E_r = \{X : |X| \geq r\}$ функція $M(r)$ є коливною.

Відмітимо обмеженість означення 4 в тому, що воно передбачає наявність в головній частині оператора Лапласа.

Основним інструментом наших досліджень служитиме формула, яка пов'язує розв'язки рівнянь з частинними похідними і звичайними диференціальними рівняннями.

Має місце формула:

$$\frac{d}{dr}(r^{n-1}\frac{dM_r u}{dr}) = \frac{1}{\omega_n}\iint_{S_r} \Delta u(X)dS, \tag{5}$$

В сферичних координатах

$$\begin{aligned} &x_1 = r\cos\theta_1, \\ &x_2 = r\sin\theta_1\cos\theta_2, \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ &x_n = r\sin\theta_1 \dots \sin\theta_{n-2}\cos\theta_{n-1}; \end{aligned} \tag{6}$$

де $r = \sqrt{x_1^2 + \dots + x_n^2}$; $0 \leq \theta_i \leq \pi$, $i = 1,\dots,n-2$; $0 \leq \theta_{n-1} \leq 2\pi$;

оператор Лапласа має вид:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{n-1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r}\cdot(\sum_{j=1}^{n}\frac{\frac{\partial}{\partial\theta_j}(\sin^{n-j-1}\theta_j\frac{\partial}{\partial\theta_j})}{q_j\sin^{n-j-1}\theta_j}), \tag{7}$$

і радіальна частина його співпадає з лівою частиною формули (5):

$$L_r = \frac{1}{r^{n-1}}\cdot\frac{\partial}{\partial r}r^{n-1}\frac{\partial}{\partial r}.$$

Якщо для усереднення $M(r)$ (5.3) розглядати лише сферично симетричні розв'язки, то застосовуючи оператор L_r до M_r, отримаємо формулу в операторному виді:

$$L_r M = ML_r. \tag{8}$$

Остання інтерпретація дозволяє застосувати означення 4 для дослідження інших типів рівнянь з частинними похідними відмінними від еліптичних.

Усереднення (3) не випадково вибране для дослідження на коливніть рівнянь з частинними похідними. Воно безпосередньо зв'язане з перетворенням Радона, зокрема, усереднення по формулі (5) є таким перетворенням в евклідовому просторі E^n. Застосуємо перетворення Радона до досліджень коливності еліптичних і гіперболічних рівнянь.

Нехай f - функція з простору E^n , інтегрована на кожній гіперплощині, позначимо через P^n простір усіх гіперплощин в E^n, забезпечений очевидною топологією.

Означення 5. Перетворення

$$\hat{f}(\xi) = \int_{\xi} f(X)dm(X), \tag{9}$$

де dm - евклідова міра на гіперплощині ξ, будемо називати перетворенням Радона.

Означення 6. Дуальним перетворенням Радона $\varphi \to \breve{\varphi}$ будемо називати перетворення, яке неперервній функції φ на P^n ставить у відповідність функцію $\breve{\varphi}$ на R^n по формулі:

$$\breve{\varphi}(X) = \int_{X \in \xi} \varphi(\xi) d\mu(\xi), \tag{10}$$

де $d\mu$ - міра на компактній множині $\{X \in \xi : \xi \in P^n\}$, інваріантна відносно групи поворотів навколо точки X і така, що повна міра всієї множини рівна одиниці.

Так, для E^2 гіперплощинами будуть прямі, $dm(X)=dX$, а компактною множиною, інваріантною відносно поворотів навколо точки X_0, буде коло S з центром $X_0 \in E^2$. Тоді:

$$\frac{1}{2\pi r}\int_S d\mu(X) = 1, \quad d\mu(X) = dS.$$

Аналогічний зміст формули (9) і (10) мають для любого $n \geq 2$, а тому дуальне перетворення Радона слід розуміти як усереднення по формулі (3). Відносно ж функції f у формулі (9) потрібно зробити припущення про існування інтегралу в правій частині формули.

Нашою метою буде використання перетворень Радона для дослідження поведінки розв'язків рівнянь з частинними похідними. Як уже згадувалось у вступі, це досягається шляхом приведення рівнянь з частинними похідними до звичайних. Для цього розглянемо рімановий простір, який задається квадратичною формою, котра хоча б локально, в підходящому базисі , може бути записана у виді:

$$ds^2 = dx_1^2 + ... + dx_p^2 - dx_{p+1}^2 - ... - dx_{p+q}^2, \tag{11}$$

де кількість від'ємних і додатних складових постійна для вибраного простору. Форма (11) залежить лише від головної частини оператора в частинних похідних. Так, для еліптичних рівнянь в (11) немає від'ємних складових, оскільки квадратична форма при старших похідних є додатною. Для рівнянь гіперболічного типу маємо p = 1. Простір із метрикою (11) називають псевдорімановим або псевдоевклідовим.

Означення 7. Сферою S_r в просторі X називатимемо множину всеможливих точок в X , які знаходяться на постійній відстані (дійсній чи уявній) у відповідній метриці від фіксованої точки X_0.

В гіперболічному просторі H^n формули перетворення координат аналогічні формулам (6):

$$\begin{aligned} &y_1 = r ch\theta_1, \\ &y_2 = r sh\theta_1 \cos\theta_2, \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ &y_n = r sh\theta_1 \dots \sin\theta_{n-2} \cos\theta_{n-1}; \end{aligned} \tag{13}$$

а площа поверхні «сфери» в таких координатах задається формулою $A(r) = \omega_n sh^{n-1} r$. Для випадку довільної кривини *k<0* функція $A(r) = \omega_n (\frac{sh\sqrt{-k}r}{\sqrt{-k}})^{n-1}$. Звідси зокрема, формально слідує, з допомогою граничного переходу при $k \to 0$, формула для площі *n* – вимірної сфери в просторі E^n: $A(r) = \omega_n \cdot r^{n-1}$.

Для хвильового рівняння

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \cdot \Delta u + pu = 0 \tag{14}$$

оператор $L = \frac{\partial^2}{\partial t^2} - a^2 \Delta$ при *a=1* має вид:

$$\square = \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{\partial^2}{\partial x_1{}^2} - \dots - \frac{\partial^2}{\partial x_{n-1}^2}, \tag{15}$$

в просторі H^n можна записати як оператор Лапласа-Бельтрамі:

$$L = \frac{1}{\sqrt{\bar{g}}} (\sum_{i=1}^{n} \frac{\partial}{\partial x_i} (\sum_{j=1}^{n} g^{ik} \sqrt{\bar{g}} \frac{\partial}{\partial x_j})) \tag{16}$$

В позначеннях (16) $g_{ij} = g(\frac{\partial}{\partial x_i}, \frac{\partial}{\partial x_j})$ - метричний тензор, що задає метрику простору, $\{g^{ij}\}$ - обернена матриця до $\{g_{ij}\}$, $\sum_{j=1}^{n} g_{ij} g^{ik} = \delta_{ik}$, $\bar{g} = |\det(g_{ij})|$, δ_{ik} - символ Кронекера.

В координатах (13) ріманова структура (11) простору L^n задається формулою:

$$ds^2 = dr^2 + sh^2 r \cdot \sum_{i,j=0}^{n-2} g_{ij}(\theta_0, \dots, \theta_{n-2}) d\theta_i d\theta_j. \tag{17}$$

Площа поверхні «сфери» в таких координатах задається формулою $A(r) = \omega_n \cdot sh^{n-1} r$, $0 \le r < \infty$. У формулі (17) окремо виділені функції, які залежать від *r* і, окремо від кутів θ_i, а тому як і у випадку рівняння Лапласа (в просторі E^n), для хвильового оператора (15), є можливість виділити радіальну частину. Цим підтверджується існування розв'язків рівняння (5.14), які залежать лише від відстані *r* і не залежать від кутів θ_i .

Міркування відносно «сферично симетричних розв'язків» не залежать від конкретного виду простору постійної кривини, а стосуються всіх трьох просторів: E^n, H^n, S^n.

Література.

1. Бардзокас Д.И., Зобнин А.И. Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 376с.
2. Колеблемость решений дифференциальных уравнений в пространствах постоянной кривизны / М. К. Бугир, И. Г. Добротвор. – К. - ИМАН УССР, - 1988, -52с.

УДК 621.3:50

Богдан Дурняк, д.т.н., проф., Микола Луцків, д.т.н., проф.
Українська академія друкарства, Україна

УПРАВЛІННЯ З ВИПЕРЕДЖЕННЯМ У СИСТЕМАХ З НЕЧІТКИМ КОНТРОЛЕМ

Запропоновано новий підхід до побудови нечітких систем керування з контуром випередження, який контролює зміну завдання і додатково формує сигнал випередження для управління, внаслідок чого система більш оперативно реагує на зміни завдання. Розроблено структурну схему моделі системи з випередженням для нечіткого контролера. Подані результати імітаційного моделювання. Встановлено, що нечіткий П-регулятор забезпечує високу якість регулювання при зміні параметрів об'єкта в широких межах.

Ключові слова: об'єкт, регулювання, контролер, нечіткий, випередження, управління, моделювання, параметри, варіація, якість.

Bogdan Durnyak, Mukola Lutskiv

MANAGEMENT WITH AWARENESS IN SYSTEMS WITH NON-GOVERNMENTAL CONTROLS

A new approach to the construction of fuzzy control systems is proposed. A structural diagram of a system with a predecessor for a fuzzy controller is developed. The presented results of simulation modeling.

Keywords: object, regulation, controller, fuzzy, management, simulation.

Основним недоліком систем керування з традиційним контролером є чутливість до зміни параметрів об'єкта. Управління такими об'єктами на основі принципів і методів адаптивного керування є складне і дороге, що обмежує їх застосування до простих об'єктів. Тому задача побудови і аналізу нечіткої системи керування з випередженням управління яка має робасті властивості є актуальною. Прості пропорційні контролери формують регулюючу дію (управління) на об'єкт тільки на сонові похибки:

$$V(t) = kpe(t), \qquad (1)$$

де e(t)=$Yo(t) - Y(t)$ – похибка регулювання, $Yo(t)$ –завдання, Y(t) – вихід системи (регульована величина).

Для нульової похибки регулювання необхідна нульове значення сигналу e(t)=0. Однак при нульовому значенні похибки контролер повинен формувати стале значення управління. Отже, відомим основним недоліком П-контролерів є низька статична точність, що обмежує їх застосування. Для збільшення точності вводять І-складову управління, однак вона «відстає» від зміни похибки, що зменшує швидкодію системи і викликає слабо затухаючі коливання, що є суттєвим недоліком систем із ПІ-контролером. Для покращення динамічних властивостей системи вводять диференційну складову закону управління, що ускладнює систему і має певні обмеження.

Запропоновано новий підхід до побудови П-контролера з контуром який формує сигнал випередження у якому регулююча дія на об'єкт:

$$V(t)=kpe(t)+U_0, \qquad (2)$$

де $U_0 = K_c Y_o(t)$ – сигнал випередження, K_c – шуканий коефіцієнт, який залежить від коефіцієнта передачі об'єкта.

На основі викладеного визначено статичну похибку регулювання:

$$e = \frac{1+K_0K_c}{1+K_pK_0}. \qquad (3)$$

Якщо шуканий коефіцієнт $K_c=1/K_0$, то статична похибка (3) у побудованій таким чином системі дорівнює нулю. Отже, теоретично можна одержати нульову статичну похибку в системі без введення в алгоритм управління І-складової, що є перевагою.

Побудовано систему керування з контуром випередження з нечітким контролером, який формує управління на базі нечіткої логіки. В загальному плані синтез нечіткого контролера полягає у виборі функцій належності терм-множин лінгвістичних змінних, алгоритму виводу і оптимізації основних параметрів контролера. Розглянуто побудову нечіткого П-контролера з випередженням для інерційного об'єкта другого порядку. Прийнято, що число терм-множин за допомогою яких оцінюється лінгвістична змінна – похибка регулювання рівна двом. Нечітка версія П-контролера основана на знаннях стану процесу керування із застосуванням лінгвістичних змінних. Якщо похибка від'ємна/додатна, то управління описується нечіткою базою правил:

R1: ЯКЩО (E=N) TD(U_n=A)

R2: ЯКЩО (E=P) TD(U_n=B) (4)

де E – нормалізований вихідний сигнал похибки регулювання, U_n – нормалізоване управління, нечіткі лінгвістичні множини, які якісно оцінюють похибку регулювання (N – похибка від'ємна, P – додатня), A і B – множини, що описуються функціями належності які задамо типу L – ліва, P – права зовнішніми функціями належності із шириною вікон рівною одиниці.Дефузифікація розмитого сигналу здійснюється методом Мамдані шляхом обтинання функцій належності до рівня,який задає вхідний сигнал E за допомогою блоків Saturation Dynamic.Модифіковані таким чином функції належності подаються на вхід оператора MAX на виході якого формується нормалізоване управління Un .

На основі викладеного, бази правил (4), вибраних функцій належності побудована структурна схема моделі нечіткого П-контролера з випередженням. Сформоване згідно нечіткого алгоритму (4) нормалізоване управління U_n знаходиться в діапазоні [-1, 1], тому для створення фізичної регулюючої дії на об'єкт необхідно здійснити денормалізацію (масштабування) і врахувати сигнал випередження:

$$V = MU_n + \frac{1}{K_0}Y_0. \qquad (5)$$

де M – масштабуючий коефіцієнт який є основним параметром налагодження нечіткого контролера

На основі бази правил (4), вибраних функцій належності, операцій фузифікації і дефузифікації та управління (5) побудована структурна схема моделі схема моделі системи з нечітким П-контролером в пакеті Matlab:Simulink. Нечіткий регулятор складається з двох основних блоків: нормалізованого алгоритму управління, блоку фузифікації і дефузифікації замаскованих у блоці Subsystem і моделі об'єкта регулювання подана блоками Transfer function. Для прикладу задали параметри об'єкта K_0=10, T_1=5с, T_2=3с. Прийняли значення регульованої величини $У_0$=100. Налагодили контролер на перерегулювання 20 і 5%. Результати імітаційного моделювання подано на рис. 1

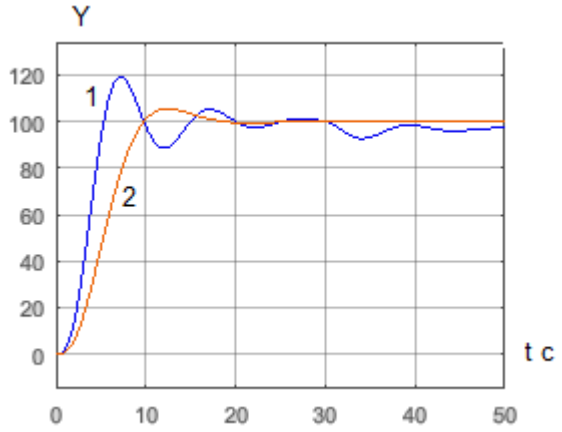


Рис. 1. Перехідні характеристики системи: 1 – для 20% перерегулювання, 2 – для 5% пере регулювання

Система з нечітким П-контролером забезпечує пере регулювання і досить малу статичну похибку 0,0065%, час наростання і пере регулювання. При дії великого збурення Z_0=30 на об'єкт пере регулювання становить 8%, статистична похибка 4,8%. Досліджували роботу нечіткого контролера для нестаціонарних об'єктів регулювання. Збільшили коефіцієнт передачі об'єкта у чотири рази. Перерегулювання збільшилось від 20 до 25%, статистична похибка є досить мала. Досліджували вплив сталих часу об'єкта при п'ятикратному збільшенні та зменшенні. Результати імітаційного моделювання при варіаціях сталих часу подані на рис.2.

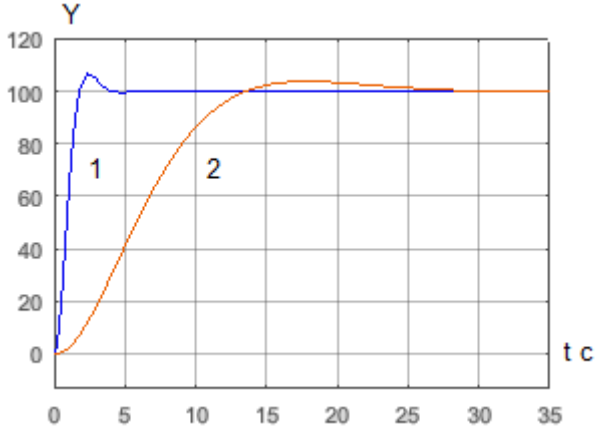


Рис. 2. Перехідні характеристики системи для різних сталих часу об'єкта

Встановлено, що зміна сталих часу мало впливає на якість регулювання. Пере регулювання становить 6,5% і 4%. Натомість час регулювання змінюється в широких межах від 4 до 40 с., що є закономірним фізичним явищем обумовленим зміною інерційних властивостей об'єкта.

На основі результатів імітаційного моделювання і побудованих перехідних характеристик система при зміні параметрів регулювання в широких межах робимо висновок, що запропонований нечіткий П-контролер з випередженням забезпечує стабільну роботу системи і якість регулювання, має робасті властивості, є простішим ніж традиційні адаптивні системи. Якщо якість регулювання системи з нечітким П-контролером з випередженням з двома функціями належності задовольняє замовника то можна рекомендувати застосування розробленого нечіткого контролера як найбільш простого.

УДК 681.518.:004.93.1'

Вікторія Зимовець
Сумський державний унівеситет, Україна

КАТЕГОРІЙНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНОГО ФАКТОРНОГО КЛАСТЕР-АНАЛІЗУ ДІАГНОСТИЧНИХ ДАНИХ

Розглядається категорійна модель системи функціонального діагностування, яка функціонує в режимі факторного кластер-аналізу діагностичних ознак. При цьому категорійна модель у вигляді орієнтованого графу розроблена в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технологій аналізу даних, яка базується на максимізації інформаційної спроможності системи функціонального діагностування в процесі машинного навчання. Застосування режиму факторного кластер-аналізу діагностичних ознак дозволяє системі функціонального діагностування в проценсі експлуатації автоматично збільшувати потужність алфавіту класів розпізнавання і перенавчатися.

Ключові слова: інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія, система функціонального діагностування, факторний кластер-аналіз, машинне навчання багатоканатна шахтна підйомна машина

Viktoriya Zimovets

CATEGORY MODEL OF INFORMATION-EXTREME FACTOR CLUSTER ANALYSIS OF DIAGNOSTIC DATA

A categorical model of the system of functional diagnostics, which functions in the mode of factor cluster analysis of diagnostic features, is considered. In this case, the categorical model in the form of a directed graph is developed within the framework of information-extreme intellectual technology of data analysis, which is based on maximizing the information capacity of the system of functional diagnostics in the process of machine learning. The application of the factor factor cluster analysis of diagnostic features allows the system of functional diagnostics in the percentage of operation to automatically increase the power of the alphabet recognition classes and re-engage.

Key words: information-extreme intellectual technology, system of functional diagnostics, factor cluster analysis, machine learning, multichannel shaft lifting machine

Основним перспективним шляхом подальшого розвитку систем функціонального діагностування складних машин і пристроїв є застосування ідей і методів машинного навчання і розпізнавання образів. В праці [1] розглядалася задача інформаційного синтезу здатної навчатися системи функціонального діагностування (СФД) багатоканатної шахтної підйомної машини (ШПМ). В цій праці машинне навчання здійснювалося в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технологій (ІЕІ- технології) аналізу даних, яка базується на максимізації інформаційної спроможності системи в процесі її навчання [2]. При цьому формування вхідної навчальної матриці здійснювалося для чотирьох класів розпізнавання, які характеризували можливі технічні стани вузлів ШПМ. Але на практиці при функціональному діагностуванні складних машин потужність алфавіту класів розпізнавання може досягати великих значень. Тому актуальною задачею є надання СФД можливості автоматичного формування безпосередньо в робочому режимі алфавіту класів розпізнавання та відповідного перенавчання, тобто система властивості самонавчання. Для розв'язання цієї задачі було в рамках ІЕІ-технології реалізовано метод інформаційно-екстремального машинного навчання СФД в режимі факторного кластер-аналізу (ФКА) діагностичних даних. Ідея полягала в тому, що апріорно навчена

СФД розпізнавати невелику кількість класів розпізнавання при функціонуванні в робочому режимі автоматично розбиває на кластери за агломеративним методом кластер-аналізу не розпізнанні вектори-реалізаці інших класів, при досягненні заданого репрезентативного обсягу відповідного кластеру приєднує його до вхідної навчальної матриці і здійснюється перенавчання системи.

На відміну від нейроподібних структур методи ІЕІ-технології розробляються в рамках функціонального підходу, що дозволяє узагальнену схему алгоритму інформаційно-екстремального машинного навчання представляти категорійною моделлю у вигляді орієнтованого графу, в якому множини відображаються одна на одну відповідними операторами. Вхідний математичний опис категорійної моделі представимо у вигляді структури

$$\Delta_B = < G, T, \Omega, Z, Y, X; f_1, f_2 >$$

де G – простір вхідних сигналів (факторів); T – множина моментів часу зняття інформації; Ω – простір діагностичних ознак; Z – простір можливих технічних станів СФД; Y – вхідна навчальна матриця; X – бінарна робоча навчальна матриця; f_1 – оператор формування навчальної матриці Y; f – оператор формування навчальної матриці X. Декартова четвірка $G \times T \times \Omega \times Z$ утворює універсум випробувань, який формує діагностичні дані .

На рис. 1 показано категорійну модель інформаційно-екстремального машинного навчання СФД в режимі факторного кластер-аналізу.

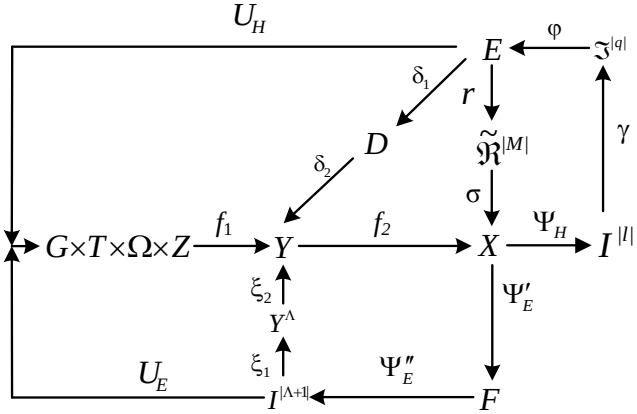


Рис. 1. Категорійна модель інформаційно-екстремального ФКА

Особливість показаної на рис. 1. моделі полягає в наявності паралельних контурів машинного навчання і екзамену. Контур, який складається із послідовності операторів $\psi_H, \gamma, \varphi, r$ і σ оптимізує геометричні параметри контейнерів класів розпізнавання, які відновлюються в процесі машинного навчання в радіальному базисі діагностичних ознак. При цьому оператор класифікації $\Psi_f : X \to I^{|l|}$ перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність реалізації $\{x_i^{(j)} \mid j = \overline{1,n}, i = \overline{1,N}\}$ класу X_m^o, де $I^{|l|}$ – множина l статистичних гіпотез. Оператор γ визначає множину точністних характеристик діагностичних рішень $\Im^{|q|}$, де $q = l^2$ — кількість точнісних характеристик, а оператор φ обчислює множину значень інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання E, якій є функціоналом від точнісних характеристик. Оператор $r : E \to \tilde{\Re}^{|M|}$ будує на кожному кроці навчання у загальному випадку нечітке розбиття $\tilde{\Re}^{|M|}$ класів розпізнавання , яке відображається оператором σ на розподіл двійкових векторів-реалізацій робочої матриці X .

У контурі, який моделює роботу СФД в режимі екзамену, або безпосередньо в робочому режимі, оператор класифікації екзаменаційного вектору розпізнавання утворює композицію $\Psi_E = \Psi'_E \circ \Psi''_E$, де оператор Ψ'_E обчислює функції належності і формує терм-множину F, а оператор Ψ''_E обчислює вирішальні правила відповідно. За результатами екзамену формується відкрита множина гіпотез $I^{|\Lambda+1|}$, серед яких гіпотеза $\gamma_{\Lambda+1}$ означає, що екзаменаційна реалізація не належить алфавіту класів розпізнавання $\{X_m^o\}^\Lambda$. Оператор $\xi_1 : I^{|\Lambda+1|} \to Y^\Lambda$ формує додаткову навчальну матрицю Y^Λ і при досягненні нею мінімального репрезентативного обсягу оператор $\xi_2 : Y^\Lambda \to Y$ доповнює вхідну навчальну матрицю Y і запускає контур навчання СППР. Оператори $U_H : E \to G \times T \times \Omega \times Z$ і $U_E : I^{|\Lambda+1|} \to G \times T \times \Omega \times Z$ регламентують процес навчання й екзамену СФД відповідно. Як інформаційний критерій оптимізації параметрів машинного навчання використовувалася модифікована міра Кульбака у вигляді [2]

$$E_m^{(k)} = \frac{1}{n}\log_2\left\{\frac{2n + 10^{-r} - \left[K_1^{(k)} + K_2^{(k)}\right]}{\left[K_1^{(k)} + K_2^{(k)}\right] + 10^{-r}}\right\}\left[n - (K_1^{(k)} + K_2^{(k)})1\right],$$

де $K_{1,m}^{(k)}$ – кількість подій, які означають неналежність "своїх" реалізацій класу розпізнавання X_m^o; $K_{2,m}^{(k)}$ – кількість подій, які означають належність "чужих" реалізацій класу X_m^o; n – обсяг репрезентативної навчальної вибірки; 10^{-r} – достатньо мале число, що вводиться для уникнення поділу на нуль, яке на практиці вибирається в інтервалі $1 < r \le 3$.

За отриманими в процесі машинного навчання оптимальними геометричними параметрами контейнерів класів розпізнавання було побудовано вирішальні правила, які мають вигляд

$$(\forall X_m^o \in \Re^{|M|})(x^{(j)} \in \Re^{|M|})[\mathit{if}\ \ (\mu_m > 0)\,\&\,(\mu_m = \max\{\mu_m\})\ \mathit{then}\ \ x^{(j)} \in X_m^o], \qquad (1)$$

де $x^{(j)}$ – вектор-реалізація, що розпізнається; μ_m функція належності реалізації, що розпізнається, контейнеру класу розпізнавання X_m^o.

У виразі (1) функція належності для гіперсферичних контейнерів у вигляді [2]

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x^{(j)} \oplus x_m)}{d_m^*};$$

де d_m^* – отриманий в процесі машинного навчання оптимальний радіус контейнера класу розпізнавання X_m^o.

Таким чином, запропонована категорійна модель інформаційно-екстремального ФКА дозволяє безпосередньо в робочому режимі виділяти нові класи розпізнавання і здійснювати перенавчання СФД.

Література

1. Довбиш А.С. Оптимізація ієрархічної структури даних інтелектуальної системи функціонального діагностування технічного стану складної машини/ А.С. Довбиш, В. І. Зимовець, М. В. Бібик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 48 . – С. 45-57.

2. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем: Навчальний посібник / А.С. Довбиш. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. –172 с.

УДК 621.833.6

Василь Каретін, м.н.с., Андрій Курко, к.т.н., доц., Михайло Михайлишин, к.ф.-м.н., доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА РЕЄСТРАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТУЖНОСТІ ІНЕРЦІЙНОГО ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРУ МОМЕНТУ

Для ефективного експериментального дослідження інерційного диференціального трансформатору моменту розроблено автоматизований стенд, що дозволяє програмно змінювати фіксовані значення параметрів вхідної потужності та цифрову реєстрацію вихідних параметрів.

Ключові слова дебаланс, вхідна потужність, цифрова реєстрація, режим динамічної муфти.

Vasyl Karetin, Andrii Kurko, Mykhailo Mykhailyshyn

AUTOMATED REGISTRATION OF POWER PARAMETERS OF THE INERTIAL DIFFERENTIAL TRANSFORMER OF MOMENT

For the efficient experimental study of an inertial differential transformer of moment, an automated booth has been developed that allows programmatically to change the fixed values of the input power parameters and digital recording of the output parameters.

Keywords eccentric weight, input power, digital recording, dynamic clutch modes

Сучасні апаратні засоби дозволяють виконувати дослідження елементів трансмісії при точній фіксації рівнів запрограмованої вхідної потужності та реєстрації відповідних параметрів вихідної потужності.

Для автоматизованого дослідження параметрів потужностей інерційного диференціального трансформатору моменту (ІДТМ) розроблено стенд структурна схема якого представлена на рисунку 1.

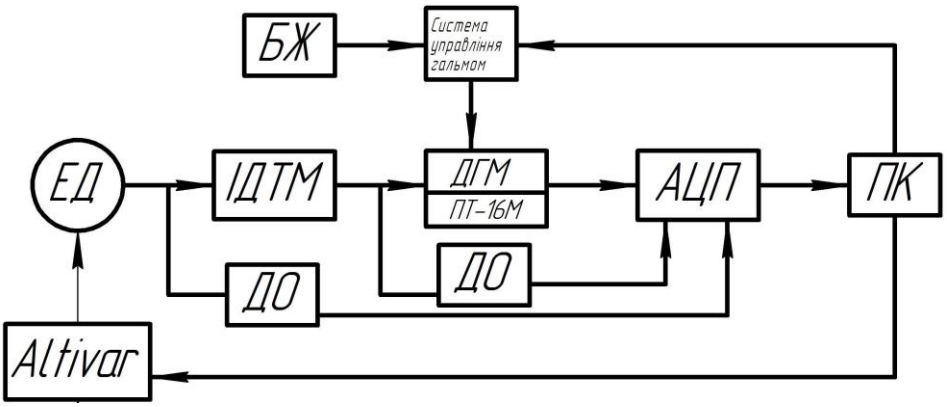


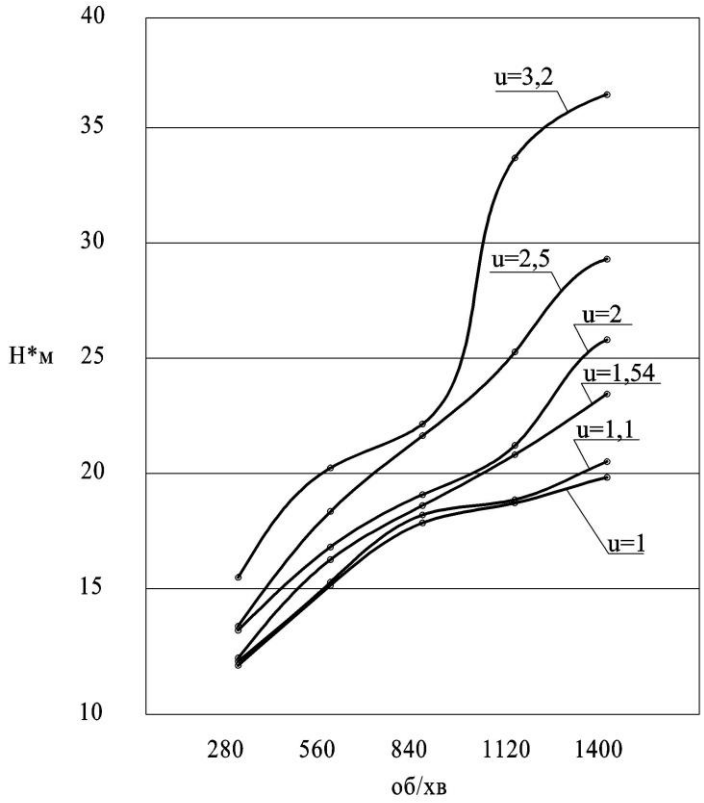
Рис. 1 Структурна схема експериментального стенда

Мета дослідження – експериментальне визначення меж допустимої зміни вхідної потужності.

Дослідження ІДТМ здійснювалось в режимі динамічної муфти в двох варіантах: обертання дебалансів в одному та зустрічному напрямках.

Для узгодження електричного живлення силових елементів стенда застосована роздільна схема програмного управління. Регулювання вхідної потужності здійснене частотним перетворювачем Altivar 312 з програмним забезпеченням SoMove v.2.3 (Schneider Electric SoMove Software). Технологічне навантаження змодельоване електромагнітним порошковим гальмом ПТ-16М з системою керування на базі Arduino.

Параметри, зняті давачами обертів і крутних моментів, через АЦП потрапляли в ПК де в подальшому оброблялися в середовищі MathCad.



За попередніми розрахунками для даного типу електродвигуна частотний діапазон становить 280÷1400 об/хв, що відповідає потужності 0,4÷1,4 кВт.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що коефіцієнт корисної дії ІДТМ в широкому діапазоні зміни вхідної потужності залишається постійним і залежить тільки від динамічного передаточного відношення.

Дослідження частотних співвідношень між діаметрально протилежними дебалансами, що зорієнтовані в одній фазі відносно реактивного колеса, шляхом зміни передаточного відношення зубчастих коліс в кінематичному ланцюгові привода підтвердило наявність резонансного ефекту.

Дослідження в режимі динамічної муфти напрямків обертання діаметрально протилежних дебалансів показало більшу ефективність застосування однонаправленості.

Література

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом Додэка-XXI, 2005, 528 с.

2. Altivar 21. Variable speed drives for asynchronous motors: User manual v2. Schneider Electric. 2006 – 249 с.

3. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов/ Ф.С. Новик, Я. Б. Арсов/М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. — 304 с., ил.

УДК 65.011.56

Юрій Капаціла к.т.н., доц., Богдан Капаціла

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
Школа міського та регіонального планування університету Айови, США

АВТОМАТИЗАЦІЯ РУХУ ТРАНСПОРТУ ЗАСОБАМИ КОМУНІКАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ

Метою цієї роботи є розгляд методів та засобів автоматизації управління рухом транспорту і привернення уваги професійних та наукових кіл в Україні до теми автоматизації транспортних систем.

Yuri Kapatsila, Ph.D., Assoc. Prof., Bogdan Kapatsila

TRAFFIC AUTOMATION USING THE MEANS OF VEHICLE-TO-INFRASTRUCTURE AND VEHICLE-TO-VEHICLE COMMUNICATION

The aim of this paper is to review the methods and means of traffic control automation and attraction of professional and scientific communities' attention to the topic of transportation system automation in Ukraine.

Комунікація між засобом пересування та інфраструктурою (vehicle-to-infrastructure (V2I)) – це новітня технологічна концепція адаптивного управління рухом, що має на меті забезпечити обмін даними між транспортом та дорожньою інфраструктурою засобами безпровідного зв'язку. Прикладами такої інформації є швидкість, розміщення, напрям руху та кількість пасажирів в транспортному засобі, дані про затори, дорожні умови і фази світлофору. На даний момент, застосування технології у тестових проектах засвідчило потенціал для більш ефективного використання проїжджої частини та безпеки руху в цілому.

Підхід є особливо актуальним для міст України, в яких часто фізичне середовище було сформоване до масового поширення автомобіля, а отже простір для розширення доріг, що здатний умістити зростаючий попит на проїжджу частину, є обмежений або взагалі відсутній. Зважаючи на це, підвищення пропускної здатності без значних капіталовкладень в інфраструктурні зміни засобами сучасних технологій має бути пріоритетним напрямком для українських міст.

Адаптивна система управління транспортом здійснює регулювання перехресть в реальному часі, що є найбільшою її перевагою у порівнянні зі статичним підходом. Найчастіше для цього використовують індуктивну петлю, яка здатна інформувати систему про швидкість, об'єм, ступінь насиченості та кінець черги трафіку. Чисельні дослідження підтверджують збільшення пропускної здатності такої системи на 8-20% у порівнянні з фіксованою (Cai et al., 2009).

Прикладом такої системи в Україні може слугувати система «Зелена хвиля», яка зараз впроваджується в м. Вінниця. Ця система передбачає, що робота світлофорів відбувається у режимі, під час якого зелене світло горить на всьому шляху, чим дозволяє транспорту максимально швидко проїжджати відрізок, а не їхати від перехрестя до перехрестя, чекаючи своєї черги на світлофорі.

Кроком вперед для таких систем є перехід на виділену комунікацію на короткій відстані (dedicated short-range communication (DSRC)), що передбачає використання смуги 5,9 ГГц для зв'язку між системою контролю і транспортом. Такий підхід зменшує затримку на перехрестях до 24% та підвищує середню швидкість руху на 5% (Milanes

et al., 2012). Комунікація між транспортними засобами (vehicle-to-vehicle (V2V)) через DSCR дозволяє створити саморегульовану систему, що використовує віртуальні дорожні знаки та узгоджує прохід перехресть. Прикладом такої синхронізації є організація злиття смуг, що дає змогу збільшити пропускну здатність до 60% (Ferreira et al., 2010).

Використання систем позиціонування для визначення положення і швидкості автомобіля вже давно не є новинкою і доступне пересічному користувачеві навіть у сучасному мобільному телефоні. Інформація в таких системах оновлюється кожних 3 секунди і навіть за наявності лише 2-3% водіїв, які використовують технологію, вона є достатньою для моніторингу руху в реальному часі (Herrera et al., 2010). Тим не менше, для системи управління рухом інформація повинна бути надійнішою і репрезентативнішою, тому забезпечення каналу DSRC на відстані до 1000 м є ефективнішим рішенням (Cai et al., 2013).

Зважаючи на те, що інфраструктурні рішення мають горизонт планування в межах двадцяти років, на даному етапі проектування для транспортних систем повинно враховувати і можливість взаємодії та підтримки роботи безпілотних авто.

Сучасна академічна думка розглядає два підходи до роботи автономних авто: системний, коли фізичне середовище є технічно оснащеним для зв'язку з транспортом, та відокремлений, в якому лише обладнання авто є джерелом інформації для його руху. Відсутність комунікації з навколишнім середовищем та іншими учасниками компенсовується набором сенсорів, що вимірюють та оцінюють стан траспортного засобу: георозміщення, напрямок, швидкість, а також лазерний радар та камера для ідентифікації перешкод та рухомих об'єктів. З іншої сторони, використання каналу DSRC протоколу IEEE 802.11p, що є офіційним транспортним діапазоном, дозволяє завчасно визначити час прибуття безпілотного траспорту до перехрестя та мінімізувати час проходження. Більше того, цей самий підхід дозволяє забезпечити постійну комунікацію між транспортними засобами (vehicle-to-vehicle (V2V)), що дозволяє автоматизувати прорахунок потенційних зон зіткнення та оптимізувати швидкість усіх авто для уникнення одночасного перебування в цих зонах (Hafner et al., 2011). Потенційно такий підхід дозволяє організувати прохід перехресть без зупинки, за умови присутності необхідного технологічного обладнання, здатного передавати та приймати сигнал про стан і траєкторію авто та організовувати мультирівневу траєкторію проходження (Makarem et al. 2012).

Попри значний потенціал оптимізації руху транспорту засобами автоматизації, дана технологія ще потребує подальшого вивчення та вдосконалення. В США великого поштовху до технічного прогресу в цій галузі надали змагання, які організувала Агенці складних дослідницьких проектів для оборони (Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)) починаючи з 2005 року. Державна фінансова підтримка та заохочення дослідницьких інституцій до конструктивного змагання концепцій забезпечили можливість швидкого прогресу та залучення приватного капіталу для маштабування проектів. Більше того, це довело можливість широкого використання технології вже в найближчому майбутньому, та заклали основи для пілотних проектів в різних містах США (Thrun et. al., 2006). Беручи до уваги цей досвід, ці тези мають на меті привернути увагу професійних та наукових кіл до теми автоматизації транспортних систем та закликати до створення цільових державних програм фінансування, дослідження та впровадження таких технологій в Україні.

УДК 62-503.57: 62-229.32

Валерій Кирилович, д.т.н., проф., Антон Кравчук
Державний університет"Житомирська політехніка", Україна

АВТОМАТИЗОВАНА АТЕСТАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ ЗОН ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ: НЕОБХІДНІСТЬ ТА СУТНІСТЬ

Показана доцільність, практичне значення та розкрито сутність атестації геометричних характеристик робочих зон промислових роботів (ПР), зміст якої базується на багаторазовому розв'язуванні прямої задачі кінематики. Процедура є інваріантною щодо метрики ПР та конструктивних параметрів затискних пристроїв ПР.

Ключові слова:атестація, робоча зона, кінематика, робот.

ValeriiKyrylovych, Anton Kravchuk

THE AUTOMATED CERNIFICATION OF WORKING AREAS OF INDUSTRIAL ROBOTS' GEOMETRICAL CHARACTERISTICS: NECESSITY AND ESSENCE

This thesis shows expediency practical value and essence of certification of geometrical characteristics of working areas of industrial robots (IR). Its content is based on repeated solving of the direct kinematics task. The procedure is invariant with respect to the IR's metric and structural parameters of IR's end effectors.

Keywords: certification, work area, kinematic, robot.

Практика проектування та експлуатації гнучких виробничих комірок (ГВК) та інших структур гнучких виробничих систем машино- та приладобудування, а також синтезу роботизованих механоскладальних технологій (РМСТ) в них вимагає наявності інформації, що апріорі полегшує розв'язувати певні задачі технологічної підготовки (ТПг) роботизованих механоскладальних виробництв (РМСВ).

Вказане відноситься, наприклад, до необхідності мати інформацію щодо певної орієнтації затискних пристроїв (ЗП) промислових роботів (ПР) незалежно від їх конструктивного виконання. Це відноситься насамперед до визначення геометричних характеристик робочих зон ПР, в яких ЗП зберігає свою певну орієнтацію, наприклад, вертикальну (певний конструктивний елемент ЗП орієнтований вниз / вверх щодо основи ПР), горизонтальну (ЗП орієнтований від / до основи робота) та інших проміжних орієнтацій ЗП ПР.

З однієї сторони підприємства-виробники ПР такої інформації не надають, а з іншої ні один існуючий нормативний документ ні в Україні, ні в інших країнах не передбачає її обов'язкової наявності, що значно ускладнює розв'язування таких практичних задач ТПг РМСВ як розміщення та планування технологічного обладнання в робочих зонах ПР, визначення координат опорних точок траєкторій, планування самих траєкторій тощо.

Вказане вище визначає **мету** даної роботи: розкриття сутності та висвітлення деяких досліджень щодо змісту вперше пропонованої процедури проведення атестації

геометричних характеристик робочих зон ПР як такої, що є складовою ТПг РМСВ.

Загалом *поняття атестації* в даному контексті передбачає визначення, а відтак і закріплення певних якісних та кількісних залежностей та закономірностей показників досліджуваних характеристик робочих зон ПР, що обумовлені конструктивно-кінематичними характеристиками ланок маніпуляційної системи (МС) (тобто

розмірами ланок, їх формою, видом та величинами їх взаємних переміщень, що іноді називається метрикою МС ПР) досліджуваного ПР та прийнятим специфічним конструктивним параметром його (ПР) затискного пристрою з врахуванням габаритних розмірів об'єкта маніпулювання.

Наявні об'єктно-орієнтовані програмні продукти безпосередньо не розв'язують подібних задач в даній постановці. В той же час, як свідчить детальний аналіз таких програмних продуктів, останні можуть бути використані як інструментарій для подібних досліджень. Наприклад, програмний продукт RoboDK як один з найбільш універсальних симуляторів для ПР та їх (ПР) *off-line*-програмування дозволяє інтегрувати 3D-модель реального робота, наприклад, моделі Braccio, та моделювати в 3D-просторі процеси переміщення ланок аналізованого ПР.

На кафедрі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету "Житомирська політехніка" започатковано проведення таких досліджень для ПР на прикладі робота моделі TinkerKitBraccio.

Їх зміст зводиться до наступного. В програмному середовищі SolidWorks створюється 3D-модель робота Tinker Kit Braccio. Після цього аналізована модель робота декомпозується на окремі компоненти (ланки), які зберігаються в спеціальному форматі *stl*. Після вибору системи координат робота та кількості ступенів рухомості (формат *dof*) в програмному середовищі RoboDK виконується почергове внесення (завантаження) 3D-компонентів робота (ланок тощо) з наступним їх (компонентів) спряженням та фіксацією для забезпечення якісних та кількісних параметрів відносної рухомості ланок МС та убезпечення різного роду колізій.

Після виявлення закономірностей та характеристик досліджуваних параметрів від метрики ПР виконується візуалізація отриманих результатів із вказанням їх характеристик, параметрів та розробленням рекомендацій щодо їх практичного використання.

Стислим змістом запропонованого підходу щодо проведення програмної (автоматизованої) атестації геометричних параметрів робочих зон ПР із збереженням певної орієнтації ЗП полягає у багаторазовому розв'язанні прямої задачі кінематики із врахуванням геометричних параметрів 3D-моделі компонентів метрики ПР, яка попередньо інтегрується в об'єктно-орієнтований програмний продукт RoboDK (або вже знаходиться в його базі даних).

Очевидними перевагами описаного підходу є зменшення фінансових та часових ресурсів при первинному налагодженні та / або переналагодженні ПР при їх функціонуванні у складі ГВК. Вказаний підхід не вимагає наявності реальних ПР для атестації метрики МС із збереженням певної орієнтації ЗП у робочій зоні ПР та дає змогу виконати атестацію кожного аналізованого ПР із внесеною 3D-моделлю конкретного ЗП або іншого спеціального інструмента (англ. *end effector*).

Результати атестації геометричних характеристик робочих зон ПР дають змогу розв'язувати певні технологічні задачі промислової робототехніки як при аналізі можливості використання існуючих ГВК для виготовлення тих чи інших виробів (результати процедури атестації в цьому випадку можна трактувати як один із показників гнучкості аналізованої ГВК), так і апріорі є основою для розв'язування задач планування, розміщення технологічного обладнання в робочих зонах ПР та інших задач ТПг РМСВ при проектуванні нових ГВК машино- та приладобудування.

УДК 621.867.52

Ігор Козбур, Олександр Шовкун, Володимир Савків, к.т.н., доц., Роман Михайлишин, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ПРИВОДА ЖИВИЛЬНИКА З ФАЗОВИМ АВТОМАТИЧНИМ ПІДЛАШТУВАННЯМ ЧАСТОТИ ЗБУДЖЕННЯ

Розглянуто електромагнітний привод вібраційного живильника з фазовим автоматичним підлаштуванням частоти збудження, визначено його динамічні та частотні характеристики, що забезпечить його ефективну роботу в резонансній області частот.

Ключові слова: електромагнітний привод вібраційного живильника, фазове автоматичне підлаштування частоти (ФАПЧ), передавальна функція, частотні характеристики.

Ihor Kozbur, Olexandr Shovkun, Volodymyr Savkiv, Roman Mykhailyshyn

DETERMINATION OF THE DYNAMIC AND FREQUENCY CHARACTERISTICS OF ELECTROMAGNETIC VIBRATION DRIVE FEEDER WITH AUTOMATIC PHASE ADJUSTMENT OF THE EXCITATION FREQUENCY

The electromagnetic drive of the vibrating feeder with phase automatic adjustment of the excitation frequency is considered, its dynamic and frequency characteristics are defined, which will ensure its effective work in the resonant frequency region.

Keywords: electromagnetic vibrating feeder drive, autonomous phase loop (PLL), electromagnetic oscillations exciter, transfer function, frequency characteristics.

Для ефективної роботи електромагнітних приводів вібраційних живильників, призначених для транспортування та поштучної видачі заготовок і деталей, необхідно забезпечити резонансний режим їх роботи. Для забезпечення резонансного режиму електромагнітного віброприводу доцільно використати фазове підлаштування частоти збудження (ФАПЧ). Можливим рішенням є використання фазового підлаштування частоти збудження (ФАПЧ) генератора керованого напругою (ГКН), який використовується для живлення електромагнітного приводу віброживильника [1, 2, 3].

При зміні частоти власних коливань робочого органа вібраційної машини в процесі роботи частота задаючого генератора також зміниться в необхідному напрямку таким чином, що вібромашина працюватиме в резонансному режимі незалежно від навантаження та зовнішніх збуджуючих факторів. Частота ГКН змінюється до тих пір, поки не зрівняється з частотою резонансу вібраційного живильника і він працює в резонансному режимі незалежно від зміни коливальної маси, жорсткості пружної системи та інших параметрів пристрою.

Модель контуру ФАПЧ представлена на рис.1. Де, відповідно, $\phi(t) = \Delta\omega \cdot t + \phi_0$ – зміна частоти в часі, $\Delta\omega(t)$ – розузгодження частоти, $\Delta\phi(t)$ – еквівалентний сигнал розузгодження фази, $e(t)$ – сигнал помилки, $F(s)$ – характеристика петльового фільтра ФАПЧ, K_d – коефіцієнт передачі ГКН.

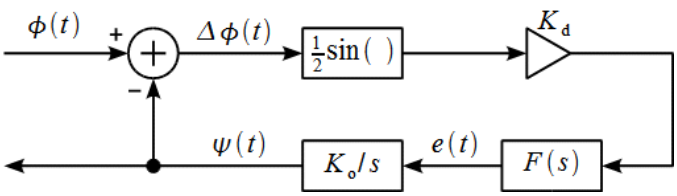


Рис. 1. Модель контуру ФАПЧ

Використовуючи структурну схему моделі контура ФАПЧ, можна в подальшому провести детальний аналіз динамічних та частотних характеристик електромагнітного вібраційного приводу живильника з фазовим підлаштуванням частоти збудження.

Згідно побудованої моделі контуру ФАПЧ (рис. 1) знайдемо його передавальну функцію характеристику $H(s)$. Враховуючи те, що ГУН інтегрує сигнал помилки $e(t)$,– $\psi(t) = K_0 \cdot \int_0^t e(t)dt$, тоді його передавальна функція рівна K_0/s, що відповідає ідеальній інтегруючій ланці, разом з тим, сам сигнал помилки виражений як синус різниці фаз $e(t) = \frac{K_d}{2} \cdot \sin(\phi(t) - \psi(t)) = \frac{K_d}{2} \cdot \sin(\Delta\phi(t))$. Цьому випадку відповідає узагальнена модель контуру ФАПЧ, як це показано на рис. 1.

У дану модель входить нелінійний елемент, котрий обчислює синус різниці фаз прийнятого й опорного коливання, що суттєво утрудняє знаходження аналітичного виразу передавальної функції контуру ФАПЧ. Але в усталеному режимі слідкування за фазою $\psi(t)$, яка прагне зрівнятися з $\phi(t)$, їхня різниця прямує до нуля, тобто $\Delta\phi(t) = \phi(t) - \psi(t) \to 0$, тоді $\frac{1}{2}\sin(\Delta\phi(t)) \approx \frac{1}{2}\sin(\phi(t))$, причому коефіцієнт 1/2 може бути врахований у коефіцієнті передачі K_d передавальної функції ГУН. У такий спосіб, у встановленому режимі, нелінійний елемент може бути виключений і модель контуру ФАПЧ відповідатиме лінеаризованій структурній схемі показаній на рис. 2.

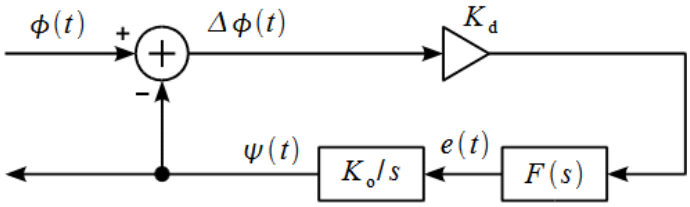


Рис. 2. Лінеаризована модель контуру ФАПЧ

Позначимо як $\Phi(s)$ і $\Psi(s)$ відповідні зображення по Лапласу фаз $\phi(t)$ і $\psi(t)$, тоді можна записати наступне операторне рівняння динаміки лінеаризованого контуру ФАПЧ:

$$\Psi(s) = (\Phi(s) - \Psi(s)) \cdot \frac{K_d \cdot K_0 \cdot F(s)}{s} \qquad (1)$$

Або в іншому записі рівняння динаміки буде представлено у вигляді:

$$\Psi(s) = \frac{K_d \cdot K_0 \cdot F(s)}{s} - \Phi(s) \cdot \frac{K_d \cdot K_0 \cdot F(s)}{s}, \qquad (2)$$

звідки можна знайти передавальну функцію контуру ФАПЧ:

$$H(s)=\frac{\Psi(s)}{\Phi(s)}=\frac{K_d\cdot K_0\cdot F(s)/s}{1+K_d\cdot K_0\cdot F(s)/s}=\frac{K_d\cdot K_0\cdot F(s)}{s+K_d\cdot K_0\cdot F(s)}. \quad (3)$$

Зважаючи на необхідні властивості передавальної функції петльового фільтру $F(s)$ та при врахуванні потреби астатизму другого порядку контуру ФАПЧ, передавальна функція $H(s)$ повинна містити поліноми другого ступеня. Відповідно передавальна функція петльового фільтра $F(s)$ повинна мати перший порядок. Задамо $F(s)$ у вигляді пропорційно інтегруючого елемента $F(s)=K_p+\frac{K_i}{s}$, де K_p і K_i – пропорційний і інтегральний коефіцієнти. Сигнал помилки $e(t)$ в цьому випадку можна знайти, при умові, що вираз $1/s$ в операторному виді відповідає інтегратору, у вигляді:

$$e(t)=K_p\cdot K_d\cdot\Delta\phi(t)+K_d\cdot K_i\cdot\int_0^t\Delta\phi(t)\,dt \quad (4)$$

Підставивши значення $F(s)$ в (3) отримаємо передавальну функцію лінеаризованого контуру ФАПЧ:

$$H(s)=\frac{K_d\cdot K_0\cdot K_p+(K_d\cdot K_0\cdot K_i)/s}{s+K_d\cdot K_0\cdot K_p+(K_d\cdot K_0\cdot K_i)/s}=\frac{K_d\cdot K_0\cdot K_p\cdot s+K_d\cdot K_0\cdot K_i}{s^2+K_d\cdot K_0\cdot K_p\cdot s+K_d\cdot K_0\cdot K_i}. \quad (5)$$

Враховуючи фізичний зміст коефіцієнтів та з метою спрощення виразу передавальної функції лінеаризованого контуру ФАПЧ $H(s)$, введемо наступні позначення, – $K_d\cdot K_0\cdot K_i=\omega_p^2$, $K_d\cdot K_0\cdot K_p=2\cdot\xi\cdot\omega_p$, тоді

$$H(s)=\frac{2\cdot\xi\cdot\omega_p\cdot s+\omega_p{}^2}{s^2+2\cdot\xi\cdot\omega_p\cdot s+\omega_p{}^2}=\frac{b_0\cdot s+b_1}{a_0\cdot s^2+a_1\cdot s+a_2} \quad (6)$$

Відповідно коефіцієнти передавальної функції, – $a_0=1$, $a_1=b_0=2\cdot\xi\cdot\omega_p=K_d\cdot K_0\cdot K_p$, $a_2=b_1=\omega_p{}^2=K_d\cdot K_0\cdot K_i$. Тобто, лінеаризований контур ФАПЧ являє собою фільтр другого порядку з резонансною частотою ω_p і коефіцієнтом загасання (damping factor) ξ.

При умові $s\to j\cdot\omega$, знайдемо комплексну передавальну функцію (комплексну частотну характеристику КЧХ) лінеаризованого контуру ФАПЧ, яка буде мати вигляд:

$$H(j\omega)=\frac{\omega_p^2+j\cdot 2\cdot\xi\cdot\omega_p\cdot\omega}{\omega_p^2-\omega^2+j\cdot 2\cdot\xi\cdot\omega_p\cdot\omega} \quad (7)$$

Амплітудно частотна характеристика (АЧХ) лінеаризованого контуру ФАПЧ, яку визначаємо як модуль КЧХ, – $|H(j\omega)|=\sqrt{\mathrm{Re}^2[H(j\omega)]+\mathrm{Im}^2[H(j\omega)]}$ рівна:

$$|H(j\omega)|=\sqrt{\frac{\omega_p^4+4\cdot\xi^2\cdot\omega_p^2\cdot\omega^2}{(\omega_p^2-\omega^2)^2+4\cdot\xi^2\cdot\omega_p^2\cdot\omega^2}} \quad (8)$$

Розглянемо основні частотні залежності в лінеаризованому контурі ФАПЧ.

При $\omega=0$ АЧХ лінеаризованого контуру ФАПЧ рівна $|H(j\cdot 0)|=1$.

В точці резонансу при $\omega=\omega_p$ отримаємо:

$$\left|H\left(j\omega_p\right)\right| = \sqrt{\frac{\omega_p^4 + 4\cdot\xi^2\cdot\omega_p^2\cdot\omega^2}{4\cdot\xi^2\cdot\omega_p^2\cdot\omega^2}} = \frac{1}{2\cdot\xi\cdot}\sqrt{1+4\cdot\xi^2} \qquad (9)$$

На резонансній частоті АЧХ лінеаризованого контуру ФАПЧ завжди більша від одиниці, причому, при $\xi \to 0$, $\left|H\left(j\omega_p\right)\right| \to \infty$. Для $\omega \to \infty$, отримаємо:

$$\left|H\left(j\infty\right)\right| = \lim_{\omega\to\infty}\left|H\left(j\omega\right)\right| = \lim_{\omega\to\infty}\sqrt{\frac{\omega^2}{\omega^4 + \cdot\omega^2}} = \lim_{\omega\to\infty}\frac{1}{\omega} = 0 \qquad (10)$$

У такому випадку логарифмічна АЧХ контуру ФАПЧ, після резонансної частоти, має нахил $20\cdot\lg\left(1/\omega\right)$, або, нахил характеристики складає $\Delta L\left(\omega\right)$ = –20 дБ/декаду.

Визначимо смугу перепускання контуру лінеаризованого ФАПЧ. Для цього необхідно розв'язати рівняння (9) при $\left|H\left(j\omega\right)\right| = 1$ відносно частоти ω, відповідно отримаємо: $\left(\omega_p^2 - \omega^2\right)^2 + 4\cdot\xi^2\cdot\omega_p^2\cdot\omega^2 = \omega_p^4 + 4\cdot\xi^2\cdot\omega_p^2\cdot\omega^2$, звідки $\left(\omega_p^2 - \omega^2\right)^2 = \omega_p^4$, відповідно $\omega^4 - 2\cdot\omega_p^2\cdot\omega^2 = 0$ або $\omega = \omega_p\cdot\sqrt{2}$

Амплітудно-частотна характеристика та логарифмічні частотні характеристики, – ЛАЧХ $20\cdot\lg\left(\left|H\left(j\omega/\omega_p\right)\right|\right)$, ЛФЧХ $arctg\left(\frac{\mathrm{Im}\left[H\left(j\omega\right)\right]}{\mathrm{Re}\left[H\left(j\omega\right)\right]}\right)$, лінеаризованого контуру ФАПЧ показано на рисунку 3.

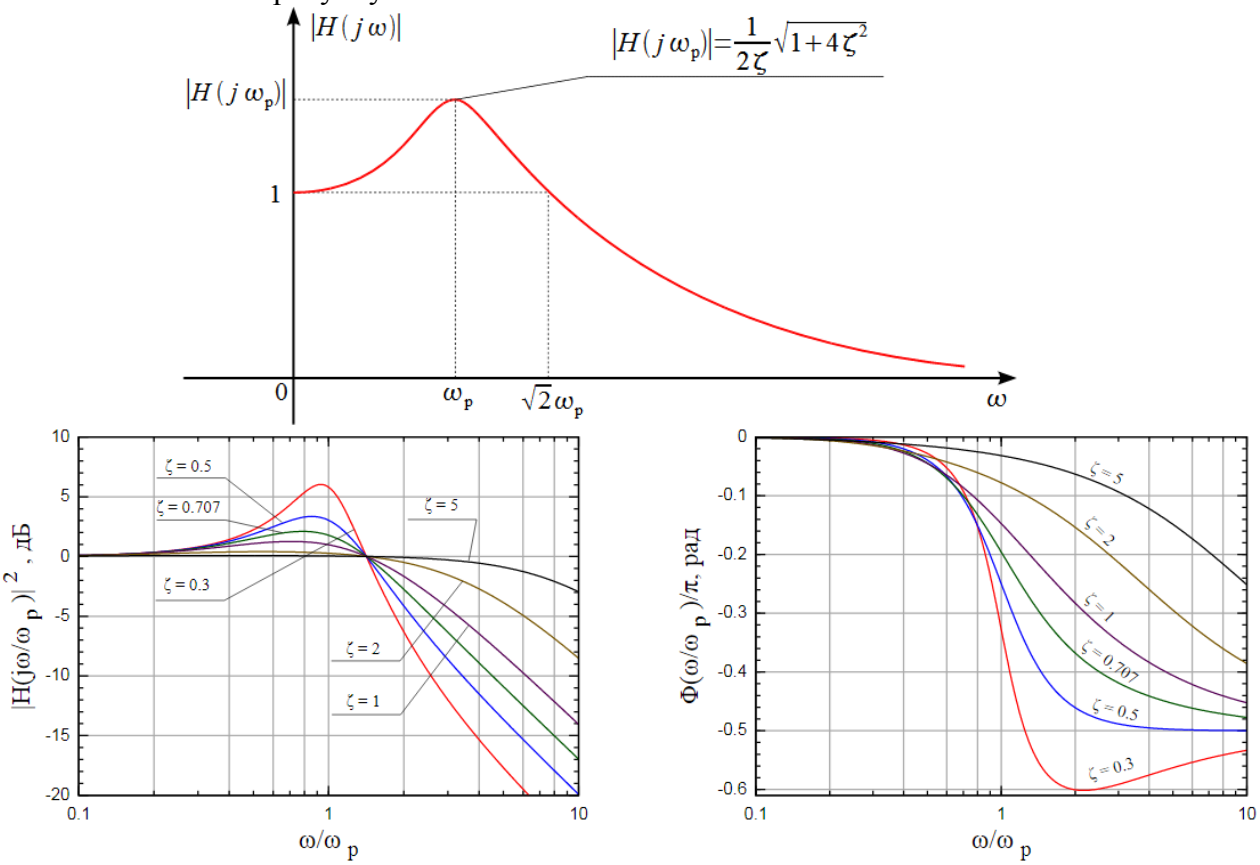


Рис. 3. АЧХ та ЛАЧХ і ЛФЧХ контуру ФАПЧ

Отримані динамічні та частотні характеристики дозволять забезпечити відповідні режими роботи контуру ФАПЧ електромагнітного приводу вібраційного живильника, що дозволить йому працювати в резонансній області.

Література:

1. Патент України № 28978 B65G27/24, Шовкун О.П. Електромагнітний привід резонансної вібраційної машини.
2. Електромагнітний вібропривод живильника / Шовкун Олександр, Козбур Ігор, Козбур Галина // Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції, 8-9 червня 2017 року: збірник тез доповідей. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2017. – С. 194-195.
3. І.Р. Козбур, Електромагнітний вібраційний привод живильника з фазовим підлаштуванням частоти збудження / Козбур І.Р., Шовкун О.П. // XXI наукова конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: збірник тез доповідей. – ТНТУ, 2019. – С. 96 – 97.

УДК 004.032.26

Ігор Коноваленко, к.т.н, доц., Павло Марущак, д.т.н., проф., Любомир Мосій
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СЕМАНТИЧНА СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПОВЕРХОНЬ, ПОШКОДЖЕНИХ ПІТИНГОВОЮ КОРОЗІЄЮ, ЗА ДОПОМОГОЮ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Розроблено та апробовано глибоку згорткову нейронну мережу для виявлення пітингів на зображенні поверхні. Досліджено фото зразків поверхні сталей 17Г1С-У та 20, отримані за допомогою електронного мікроскопа.

Ключові слова: семантична сегментація, згорткова нейронна мережа, пітингова корозія, виявлення пітингів.

Ihor Konovalenko, Pavlo Maruschak, Lyubomyr Mosiy

SEMANTIC SEGMENTATION OF IMAGES OF SURFACE DAMAGED BY PITTING CORROSION WITH A CONVOLUTIONAL NEWRAL NETWORK

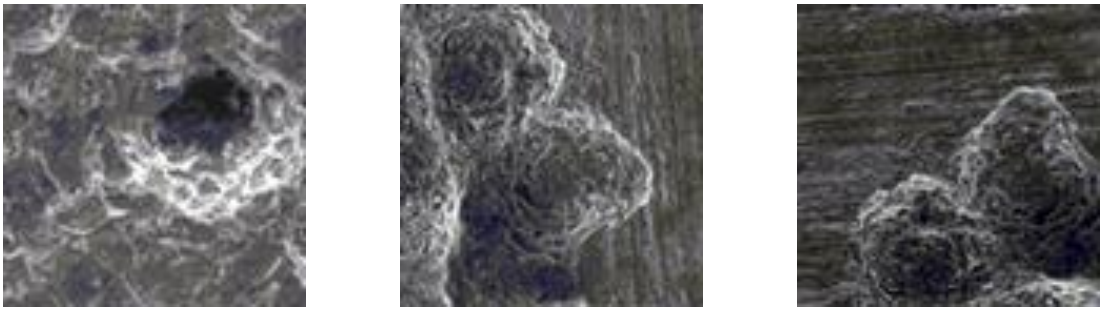
Deep convolutional neural network has been developed and tested for revealing of pittings in the image of surface. The photos of specimens of the surface of 17G1S-U and 20 steels obtained by an SEM were investigated.

Keywords: semantic segmentation, convolutional newral network, pitting corrosion, pittings detection.

Вступ

Корозійно-небезпечні групи бактерій, що входять до біоплівок, утворених на поверхні підземних споруд, зокрема стінках нафто-та газопроводів, можуть спричиняти виникнення локалізованих мікродефектів. Тому важливим є розроблення автоматизованих методів лабораторного аналізу пошкоджених поверхонь з метою співставлення біокорозійної активності ґрунтів та кількісного оцінювання параметрів дефектів трубних сталей. В даній статті аналізували поверхні з біокорозійними дефектами, які утворилися на трубних сталях 17Г1С-У та 20.

На рис. 1 подано зображення поверхонь, пошкоджених пітингами. Зображення отримані за допомогою електронного мікроскопа РЭМ-106И.



а б в

Рис. 1. Зображення фрагментів поверхні, пошкодженої пітинговою корозією

Всю поверхню, представлену зображеннями, розділили на два класи: "фон" (непошкоджена поверхня) та "пітинг" (пошкоджена поверхня). У роботі розглянуто завдання сегментації подібних зображень таким чином, щоб кожен піксель було

віднесено до одного з цих класів. Це дозволить проводити автоматизоване дослідження стану поверхні та робити висновки про можливість її подальшої експлуатації.

Сегментація зображень за допомогою нейромережі

Для сегментації зон зображення, які відповідають пітингам, класичні методи сегментації застосовувати незручно, оскільки вони передбачають ручне виявлення, розробку та прописування правил для віднесення пікселя до того чи іншого класу [1]. Разом з цим, розвиток теорії та практики застосування глибоких нейронних мереж протягом останнього десятиліття значно спростив завдання реалізації семантичної сегментації [2]. Нами розроблено та апробовано ряд згорткових нейронних мереж для виконання сегментації зображень поверхонь, пошкоджених пітинговою корозією.

Навчальною вибіркою для нейронної мережі були зображення, отримані при дослідженні поверхні зразків сталей 17Г1С-У та 20. Зображення були розбиті на фрагменти розміром 96×96 пікселів та розмічені вручну експертом (рис. 2).

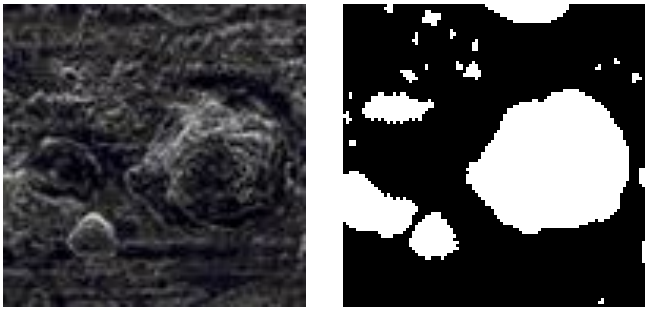
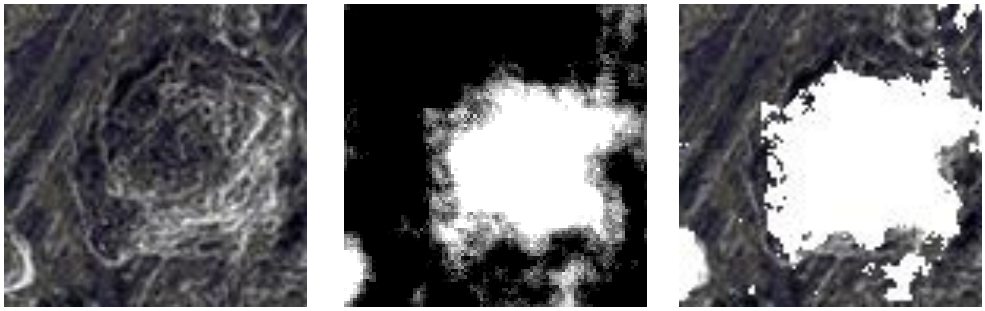


Рис. 2. Одне з навчальних зображень та його розмітка (білі пікселі – пітинг, чорні – фон)



а б в

Рис. 3. Одне із тестових зображень (а), візуалізація результатів вихідного шару нейромережі (б) та результат сегментації після порогування значень, отриманих нейромережею (в)

Для сегментації було розроблено нейронну мережу, яка складалася з 4 згорткових шарів та шести повнозв'язних шарів. Її реалізовано за допомогою мови програмування Python та бібліотек Keras і Tensorflow. Після кожного згорткового шару проводили макс-пулінг та пакетну нормалізацію. Макс-пулінг дозволив розглядати зображення на різних масштабних рівнях, а пакетна нормалізація забезпечила кращу точність отриманої моделі. На вхід кожного наступного згорткового шару подавали вихід попереднього пулінгу.

Після кожної пари операцій згортання + пулінг проводили також згладжування отриманого результату. Виходи нейронів з кожного згладженого шару подавали на спільний узагальнюючий повнозв'язний шар, безпосередньо зв'язаний з вихідним шаром, що представляв пікселі зображення. Нейрони вихідного шару видають значення в діапазоні [0,1], яке показує ступінь "впевненості", з якою нейромережа класифікує

відповідний піксель. При цьому 0 відповідає класу "фон", а 1 – класу "пітинг". На рис. 3б показано графічне подання результатів вихідного шару для одного з тестових зображень.

Навчання нейромережі

Як функцію активації вихідного шару використано Hard Sigmoid, що забезпечило вищу швидкість навчання порівняно зі звичайною сигмоїдною функцією. Для навчання використано оптимізатор RMS. Як функцію втрат використали середню квадратичну похибку (MSE). Навчання проводили протягом 220 епох: після цього функція втрат для валідаційної вибірки вже не спадала (рис. 4).

Оскільки значення нейронів вихідного шару можуть приймати будь-яке значення в діапазоні [0, 1], то на результат сегментації впливає також межа порогування, використана для прийняття рішення про розподіл пікселі на два класи. На рис. 5 показано зміну метрик точності recall, accuracy та precision при зміні межі порогування. Виявлено, що кращі результати досягаються при значення цієї межі ~0,5.

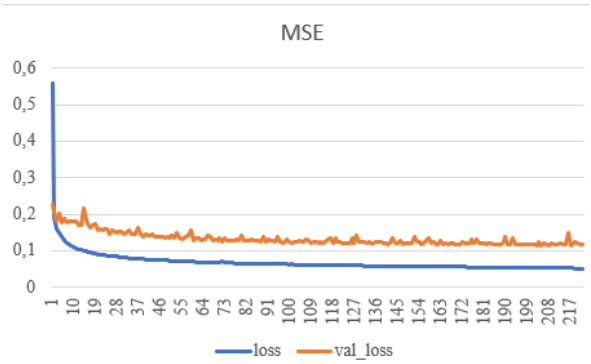


Рис. 4. Зміна значення функції втрат при навчанні

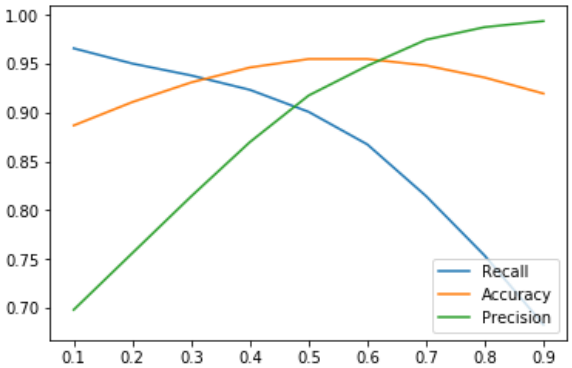


Рис. 5. Метрики точності: recall, accuracy та precision при зміні межі порогування результатів вихідного шару нейромережі

Висновки

Розроблена модель нейронної мережі дозволяє проводити швидку діагностику зображень поверхні, подібної за морфологічною структурою до досліджених поверхонь сталей 17Г1С-У та 20 та виявляти на ній пітингові пошкодження. Шляхом апробації нейромережі було вибрано оптимальні з точки зору швидкодії та точності гіперпараметри моделі та параметри її застосування. Пропоновані підходи є одним з засобів контролю кінетики біокорозійних процесів та оцінювання впливу інгібіторів на корозійно небезпечні мікроорганізми. Нові критерії дозволять підвищити точність визначення геометрії дефектів магістральних нафто- та газопроводів та розвитку корозійної ситуації на етапі проектування підземних споруд.

Література

1. Scott E Umbaugh. Digital Image Processing and Analysis with MATLAB and CVIPtools, Third Edition. CRC Press, 2017.

2. Jonathan Long, Evan Shelhamer, Trevor Darrell. Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation/ 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). DOI: 10.1109/CVPR.2015.7298965

УДК 621.317

Валерій Мартинюк, д.т.н., проф.
Хмельницький національний університет, Україна

ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ЗАХИСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАГРІВАЧІВ ВОДИ

Розроблено структурну схему пристрою контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричних нагрівачів води по перериванню постійного струму катодного захисту.

Ключові слова: контроль захисного потенціалу, антикорозійний захист, достовірність контролю, електричний нагрівач води.

Valeriy Martynyuk

LIGHTING OPTIONS OF LIGHT SOURCES

The structural scheme of the device for controlling the protective potential of anti-corrosion protection of electric water heaters by interrupting the direct current of cathode protection is developed.

Keywords: control of protective potential, anticorrosion protection, reliability of control, electric water heater.

Захист металів від корозії - одна з найважливіших народногосподарських проблем, так як втрати від корозії в промисловості, транспорті та інших галузях економіки можна порівняти з витратами на розвиток найбільших галузей промисловості.

Сумарний збиток в результаті корозії металів досягає в промислово розвинених країнах 5 - 10% національного доходу. Так, в США він оцінюється в 90 млрд. доларів, у ФРН - до 8 млрд. євро, в країнах колишнього СРСР - 40 млрд. рублів на рік [1].

В ряду металоконструкцій з підвищеною трудомісткістю виготовлення знаходяться технологічні та побутові системи для зберігання і обробки технічної та питної води. Значна частина продукції виготовляється, з використанням низьколегованої вуглецевої сталі з емальованому поверхнею.

Застосування легованої нержавіючої сталі здорожує продукцію, знижує її ринкові якості. Крім того, підвищений вміст іонів хлору в воді і водних електролітах знижує корозійну стійкість і може викликати локальне або точкове руйнування поверхні легованих сплавів. Зважаючи на це прилади й агрегати, виготовлені з нержавіючої сталі, також повинні оснащуватися антикорозійним захистом [2].

Швидкість корозії металу у воді, ґрунті та водних розчинах залежить від потенціалу Е матеріалу в навколишнє середовище. При зміщенні потенціалу в напрямку негативних значень швидкість корозії знижується, що досягається за допомогою електричного постійного струму, прикладеного через систему анодів до металевої поверхні, що захищається. В сукупності це складає важливу науково-прикладну задачу та визначає актуальність теми дослідження.

Катодний захист зовнішнім постійним струмом - це спосіб захисту конструкції примусовою катодною поляризацією за допомогою зовнішнього джерела постійного струму, який полягає в поляризації катодних ділянок локальних елементів на поверхні металу до потенціалу неполяризована анодних ділянок [3]. Поверхня виробу, який захищається, стає еквіпотенційною (потенціали катодних і анодних ділянок рівні), по відношенню до спеціально приєднаного для забезпечення поляризації анода.

Катодна поляризація конструкції, яка захищається, повинна здійснюватися

таким чином, щоб стаціонарні потенціали металу знаходилися в межах від -0,85 В до -1,15 В по мідно-сульфатному електроду порівняння.

Недоліком катодного захисту зовнішнім постійним струмом є велика похибка вимірювання, внаслідок впливу постійно прикладеного захисного потенціалу, виникнення автоколивань при автоматичному регулюванні, а також необхідність регулярного юстування електрода порівняння і витрати на нього.

Подолання зазначених недоліків катодного захисту зовнішнім постійним струмом можливо за допомогою використання катодного захисту від корозії потенціостатом, який працює по перериванню [4].

Переривання постійного струму катодного захисту дозволяє збільшити інструментальну достовірність процесу контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричного нагрівача води за рахунок зменшення методичної похибки вимірювання захисного потенціалу антикорозійного захисту.

Розглянемо структурну схему розробленого пристрою контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричного нагрівача води по перериванню постійного струму катодного захисту (рис. 1).

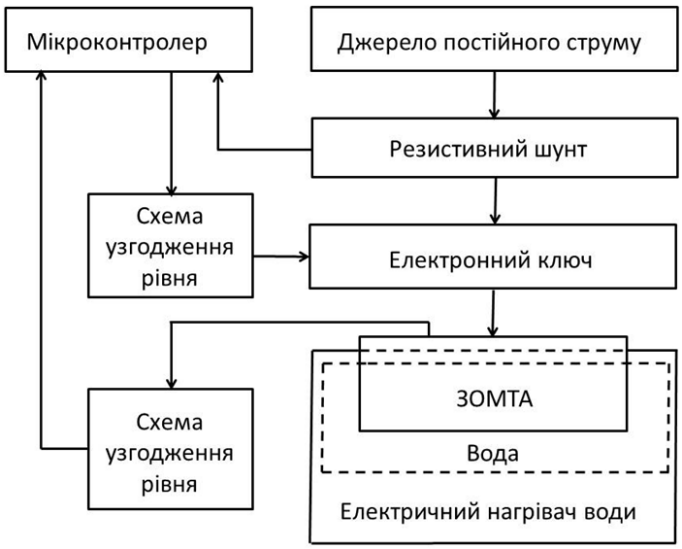


Рис. 1. Структурна схема пристрою контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричного нагрівача води по перериванню постійного струму катодного захисту

Структурна схема складається з наступних блоків:

- мікроконтролер;
- джерело постійного струму;
- резистивний шунт;
- електронний ключ;
- дві схеми узгодження рівня;
- змішаний оксидно-металевий титановий анод (ЗОМТА);
- електричний нагрівач води.

Підтримка величини потенціалу електричного нагрівача води в межах від -0,54 В до -1,15 В здійснюється шляхом регулювання мікроконтролером, за допомогою сигналу керування з виходу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) мікроконтролера, тривалості імпульсів струму, які проходять від джерела постійного струму через електронний ключ.

Вимірювання величини потенціалу Uп електричного нагрівача води здійснюється в проміжках часу між пачками імпульсів струму за допомогою аналого-

цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера.

Відомо [5], що на межі поділу між металом і розчином електроліту виникає подвійний електричний шар (ПЕШ). Система корпус-вода-ЗОМТА є фільтром низької частоти з частотою зрізу, що залежить від параметрів середовища і конструкції електродів.

На корпус, який захищається від корозії, за допомогою електронного ключа і ЗОМТА подається напруга керування Uкер у вигляді одно полярної ШІМ з тривалістю tвкл і періодом Т, як показано на рис. 2.

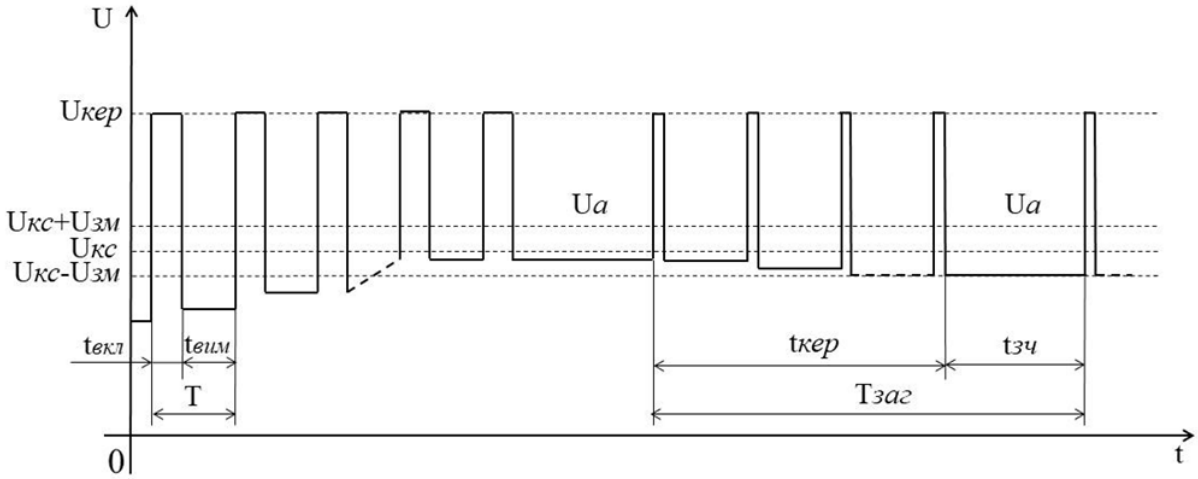


Рис. 2. Осцилограма напруга керуння Uкер у вигляді однополярної ШІМ

Рівень середнього значення напруги управління Uкер, визначається формулою:

$$U_{кс} = \frac{1}{T}\int_0^{t_{вкл}} \left(U_{кер} - U_a\right) dt + \frac{1}{T}\int_{t_{вкл}}^{T} U_a dt\,, \qquad (1)$$

де Т – період імпульсів ШІМ;

$t_{вкл}$ – тривалість імпульсу ШІМ;

$U_{кер}$ – напруга керування на виході електронного ключа;

U_a – напруга, що вимірюється на аноді, результуюча напруга на поляризаційному шарі, як результат інтегрування напруги ШІМ.

Напруга керування U*кер* у вигляді однополярної ШІМ надходить на об'єкт, що захищається від корозії, протягом часу керування t*кер*, після цього напруга керування U*кер* вимикається (здійснюється його переривання) на час зчитування t*зч*, а ЗОМТА використовується в якості вимірювального електрода для вимірювання значення захисного потенціалу. Рівень середнього значення захисного потенціалу протягом загального часу T*заг*=t*кер* + t*зч*, визначається формулою:

$$U_{зс} = \frac{1}{T_{заг}}\int_0^{t_{кер}} U_{кс} dt + \frac{1}{T_{заг}}\int_{t_{кер}}^{T_{заг}} U_a dt\,. \qquad (2)$$

Враховуючи, що при вимірюванні середнього значення U*зс* захисного потенціалу, імпульс струму відсутній, то і відсутні паразитні спади напруг на активних опорах кола корпус-вода-ЗОМТА. А це призводить до підвищення точності вимірювання середнього значення захисного потенціалу електричного нагрівача води, який захищається від корозії.

Напруга U*a*, яка вимірюється на аноді, має перебувати в межах допуску встановленого значення Uкс, як показано на рис. 2. Величина допуску для напруги U*a* задається напругою зміщення Uзм. Тривалість імпульсу ШІМ t*вкл* не змінюється, якщо виконується нерівність:

$$U_{кер} - U_{зм} < U_a < U_{кер} + U_{зм}. \quad (3)$$

Тривалість імпульсу ШІМ t*вкл* збільшується, якщо $U_a < U_{кер} - U_{зм}$ і тривалість імпульсу ШІМ t*вкл* зменшується, якщо $U_a > U_{кер} + U_{зм}$. Напруга U*a* є функцією від параметрів середовища, конструкції електродів, прикладеної напруги і шпаруватості імпульсів ШІМ.

Вимірювання струму антикорозійного захисту використовується для об'єктивного контролю захисного струму і тенденції його зміни, а також забезпечення індикації нештатного (аварійного) стану.

На структурній схемі (рис. 1) для вимірювання струму поляризації використовується резистивний шунт, на якому вимірюється падіння напруги (U*ш1*-U*ш2*) за допомогою АЦП мікроконтролера при проходженні через анод імпульсів струму ШІМ. Середній струм через резистивний шунт R*ш* визначається формулою:

$$I_{кс} = \frac{1}{T}\int_0^{t_{вкл}} \frac{U_{ш1} - U_{ш2}}{R_ш} dt + \frac{1}{T}\int_{t_{вкл}}^{T} \frac{U_{ш1} - U_{ш2}}{R_ш} dt, \quad (4)$$

де T – період імпульсів ШІМ;

$t_{вкл}$ – тривалість імпульсу ШІМ;

$U_{ш1}$ – напруга, яка вимірюється до резистивного шунта $R_ш$;

$U_{ш2}$ – напруга, яка вимірюється після резистивного шунта $R_ш$.

Протягом періоду часу від t*вкл* до T струм через резистивний шунт R*ш* не проходить, тоді середній струм через резистивний шунт R*ш*, визначається формулою:

$$I_{кс} = \frac{1}{TR_ш}\int_0^{t_{вкл}} (U_{ш1} - U_{ш2}) dt. \quad (5)$$

Рівень середнього значення струму через резистивний шунт R*ш* протягом загального часу T*заг* = t*кер* + t*зч*, визначається формулою:

$$I_{зс} = \frac{1}{T_{заг}}\int_0^{t_{кер}} I_{кс} dt = \frac{1}{T_{заг} \cdot T \cdot R_ш}\int_{t_{кер}}^{T_{заг}}\int_0^{t_{вкл}} (U_{ш1} - U_{ш2}) dt dt. \quad (6)$$

Якщо *Iзс>Imax* максимально-допустимого значення струму резистивного шунта, то в колі анода є коротке замикання з корпусом. Якщо *Iзс<Imin*, то ЗОМТА знаходиться в розриві від корпусу, або відсутня вода. При короткому замиканні або розриві кола ЗОМТА мікроконтролер сигналізує про аварійну ситуацію.

Література

1. Азаренков Н.А. Коррозия и защита металлов. Часть 1. Химическая коррозия металлов. Учебное пособие / Н.А. Азаренков, С.В. Литовченко, И.М. Неклюдов, П.И. Стоев. – Харьков: ХНУ, 2007, 187 с.

2. Baeckmann W. Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes: Theorie und Praxis der elektrochemischen Schutzverfahren / W. Baeckmann, W. Schwenk – Weinheim: Viley-VCH, 1999 – 530 p.

3. Шалыгина О.В. Проблемы защиты нагревательной аппаратуры от коррозии / О.В. Шалыгина, А.Ю. Бровин, Г.И. Миронова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 2 – С. 22 – 26.

4. Rickert H. Elektrochemische Untersuchungen zum kathodischen Korrosionsschutz mit Unterbrecherpotentiostaten / H. Rickert, G. Holzäupfel, Ch. Fianda // Werkstoffe und Korrosion. – 1987. – V. 38, Issue 11, P. 691–695.

5. Martynyuk V. V. Fractional Model of an Electrochemical Capacitor / V. V. Martynyuk, M. D. Ortigueira // Journal of Signal Processing. – V. 107, 2015, pp. 355-360.

УДК 621.3

Володимир Медвідь, Ірина Бєлякова, Вадим Пісьціо
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО БАЛАСТУ З ПСЕВДО-ВИПАДКОВИМ КЕРУЮЧИМ СИГНАЛОМ ДЛЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМПАМ ВИСОКОГО ТИСКУ

Проведено моделювання вихідних сигналів електронного баласту з псевдо-випадковим живленням для роботи із розрядною лампою високого тиску. Отримано залежність максимальної амплітуди гармонік у вихідному сигналі та сигналі на лампі від властивостей генератора псевдо-випадкового сигналу. Приведені відповідні графіки амплітудно-частотних характеристик сигналів.

Ключові слова: електронний баласт, високочастотне живлення ламп високого тиску, псевдовипадковий сигнал, MicroCAP, PSpace.

Volodymyr Medvid, Iryna Belyakova, Piscio Vadim

NUMERICAL SIMULATION OF ELECTRONIC BALLAST WITH PSEUDO-RANDOM CONTROL SIGNAL FOR HIGH-PRESSURE DISCHARGE LAMPS

The electronic ballast with a pseudo-random output signal for high-pressure discharge lamps was simulated. The dependence of the maximum amplitude of the harmonics of the signal from the properties of the pseudo-random signal generator is obtained. The corresponding graphs of the amplitude-frequency characteristics of the output signal are given.

Keywords: electronic ballast, high-frequency power supply for high pressure discharge lamps, pseudorandom signal, microCAP, PSpace.

Для підвищення ефективності роботи комплекту пускорегулювальний баласт – газорозрядна лампа низького тиску тривалий час використовують електронні баласти, які працюють на високих частотах. Їх перевага - високий ККД, що значно перевищує аналогічний параметр електромагнітних баластів, можливість регулювання струму лампи в заданих межах, збільшення світлової віддачі. Використанню електронних баластів для ламп високого тиску на підвищену частоту заважає явище акустичного резонансу, що може виникнути у пальнику лампи при роботі на підвищеній частоті [1].

Явище акустичного резонансу призводить до того, що дуга всередині лампи може обертатись, мигати і навіть гаснути, коли баласт працює на частотах, що перевищують декілька кілогерц. Як встановлено, механічна добротність пальника, котра відповідає за резонансні явища у дузі є досить значною, тому на резонансні явища впливають сигнали із невеликого проміжку частот, котрий назвемо небезпечним. Якщо ж на лампу подавати широкосмуговий сигнал, то енергія розподілена у небезпечному проміжку частот буде малою і явища резонансу не виникнуть [2].

Блок-схема запропонованого пристрою, що реалізує такий принцип, показана на рис. 1. Вона складається із тактового генератора Gen, котрий генерує на своєму виході тактовий сигнал у вигляді меандру із частотою 10-25 кГц, цей сигнал поступає на вхід формувача модулюючої послідовності (Mod. Seq.) довжиною K біт і на подільник частоти на K (Div K), котрий формує сигнал синхронізації генератора псевдовипадкової послідовності на основі зсувного регістру із лінійним зворотнім зв'язком (LFSR - linear feedback shift register). Сигнал з виходу блоку LFSR Y(t) і заповнюючий сигнал g(t) об'єднуються між собою виключаючим-АБО (XOR). Отриманий вихідний сигнал поступає на ключовий підсилювач Amp., вихідний сигнал котрого u(t) через LC контур,

та, при потребі, запалювальний пристрій, подається на лампу Н1.

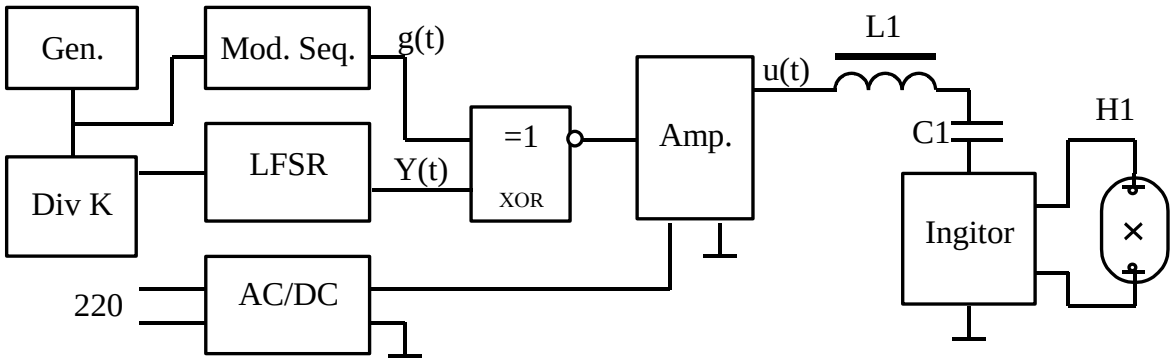


Рис. 1 Блок-схема запропонованого пристрою

Принципова схема, котра відповідає наведеній структурній моделювалась у середовищі MicroCAP при різній розрядності регістра LFSR (рис 2). Для спрощення схеми моделююча послідовність рівна у всіх випадках 01, а коефіцієнт поділу частоти генератора стабільний і рівний 1. Схема, котра наведена на рисунку 2 використовувалась для моделювання при розрядності LFSR регістра у 11 біт. Комутація виходів зсувного регістра при інших довжинах регістра зсуву здійснювалась за законом поданим у таблиці 1.

Генератор U1 створює тактовий сигнал такої частоти, щоб середньоквадратичний струм лампи був рівний номінальному. Частота сигналу генератора, залежно від розрядності LFSR регістра наведений у таблиці 1.

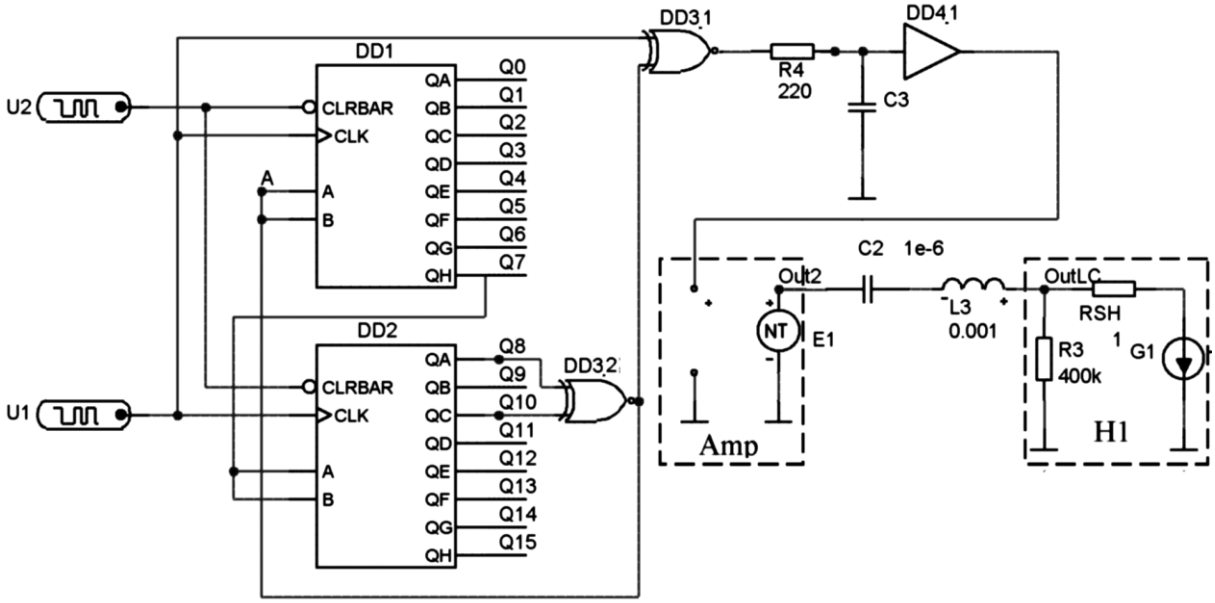
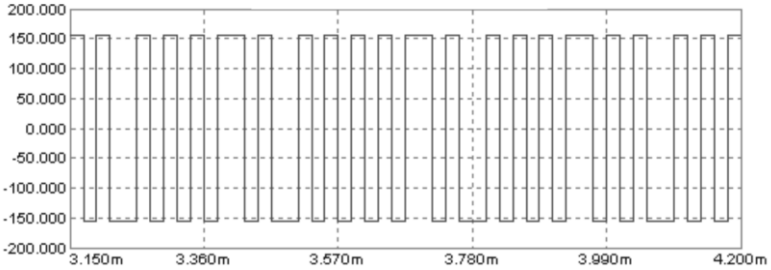


Рис. 2. Моделювання схема в MicroCap

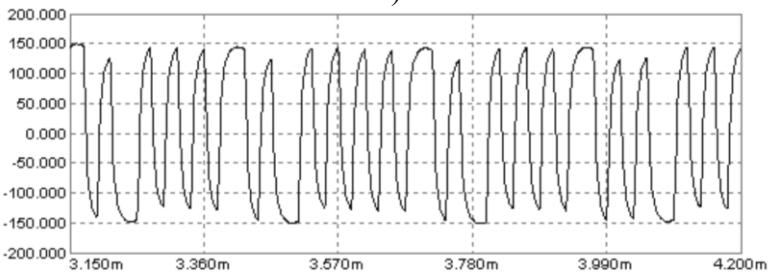
Блок ключового підсилювача Amp моделювався за допомогою блока NTVofV для котрого поведінка вихідного сигналу задавалась табличною залежністю. Блок Н1 моделює у першому наближенні розрядну лампу ДРЛ-80. Нелінійсть вольт-амперної характеристики лампи на високій частоті емпіричною аналітичною залежністю:

$$I = 1.4059\ 10^{-7}\ u_л^3 - 9.0041\ 10^{-7}\ u_л^2 + 4.5971\ 10^{-3} u_л$$

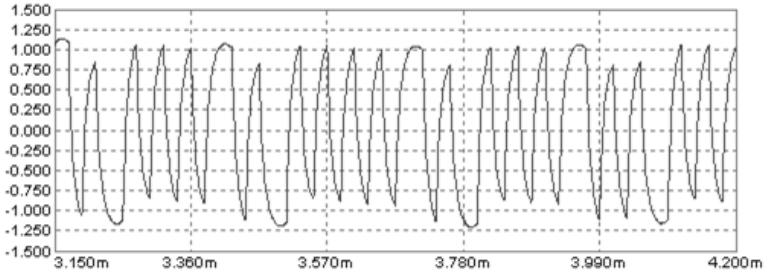
Динамічна ВАХ лампи високого тиску була знята при макетуванні пристрою при подачі на лампу псевдо випадкового сигналу з відповідними параметрами.



а)



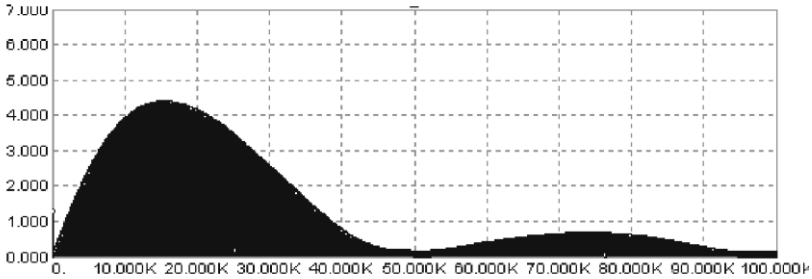
б)



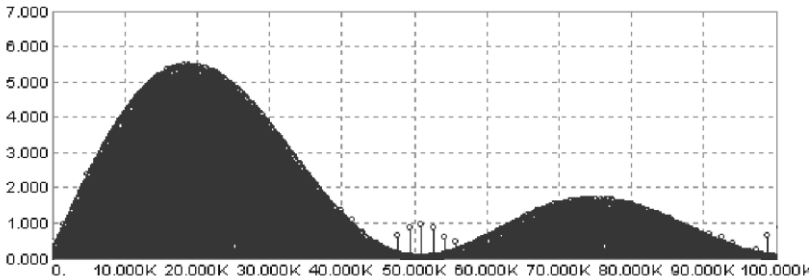
в)

Рис. 3. Фрагмент осцилограми напруги на виході підсилювача (а), на розрядній лампі (б) та струму через лампу(в)

У процесі моделювання при довжині регістра LFSR у 11 бітів були отримані осцилограми на виході підсилювача, на розрядній лампі, та струму через лампу, котрі показані на рис. 3.



а)



б)

Рис.4. Амплітуди гармонік вихідного сигналу на вході розрядної лампи (а) та на виході відповідного підсилювача(б)

Амплітуди гармонік вихідного сигналу на вході розрядної лампи (а) та на виході

відповідного підсилювача (б) показані на рисунку 4.

Таблиця 1. Параметри зворотного зв'язку, частоти, амплітуд гармонік сигналів залежно від розрядності LFSR

Розрядність LFSR	Закон формування сигналу зворотного зв'язку	Довжина послідовності	Частота генератора кГц	Амплітуда максимальної гармоніки напруги		Макси-мальна амплітуда гармонік струму мА
				На виході схеми В	На лампі В	
-	Звичайний електронний баласт		17,8	199,6	158,6	1317,8
3	$\overline{Q2 \oplus Q1}$	7	25,6	98,2	77,7	565,9
4	$\overline{Q3 \oplus Q2}$	15	25,6	64,4	51,6	371,1
5	$\overline{Q4 \oplus Q2}$	31	25,6	45,5	35,3	253,6
6	$\overline{Q5 \oplus Q4}$	63	25,6	31,2	24,6	177,9
7	$\overline{Q6 \oplus Q5}$	127	25,6	21,7	17,3	125,6
8	$\overline{Q7 \oplus Q5 \oplus Q4 \oplus Q3}$	255	25,6	15,4	12,2	88,6
9	$\overline{Q8 \oplus Q4}$	511	25,6	11,0	8,8	62,8
10	$\overline{Q9 \oplus Q6}$	1023	25	7,8	6,1	44,8
11	$\overline{Q10 \oplus Q8}$	2047	25	5,5	4,1	31,8
12	$\overline{Q11 \oplus Q10 \oplus Q9 \oplus Q3}$	4095	25	3,95	3,06	22,3

Як видно із рис. 4 при довжині регістра LFSR у 11 бітів кожна гармоніка сигналу, котрий поступає на лампу не перевищує за амплітудою 4,5 В у всьому діапазоні частот від 0 до 100 кГц, хоча, як випливає із рис. 3 максимальне значення напруги на виході підсилювача становить 157 В. Отже пропонована схема при своїй простоті, дозволяє "розподілити" потужність вихідного сигналу на досить широкий діапазон частот зменшивши тим самим можливість виникнення резонансу пальника на деякій окремій частоті. Залежність максимальної амплітуді гармонік від довжини регістра LFSR подано у таблиці 1. Також для ілюстрації подано значення напруги на лампі і струму при роботі схеми від "звичайного" електронного баласту із прямокутним вихідним сигналом.

Як випливає з таблиці, у запропонованій схемі амплітуда небезпечних гармонік падає приблизно у 2 рази при збільшенні розрядності регістра на 2 біти і, теоретично, вже для 11-розрядного регістра зсуву може впасти більше ніж у 35 разів порівняно із живленням лампи від звичайного джерела високочастотної напруги сталої частоти.

Література

1. Панфилов Д.И., Поляков В.Д., Поляков Ю,Д., Барышников А.Н. Электронные пускорегулирующие аппараты для трубчатых люминесцентных ламп// Инженерная микроэлектроника № 2, 1999 г. - с. 18-22,

2. Аналіз методів та схем запобігання виникненню явища акустичного резонансу в газорозрядних лампах високого тиску / Медвідь В., Бєлякова І., Пісьціо В.// Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: матеріали міжнародної науково-технічної конференції до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100-річчя з дня смерті), (Тернопіль, 23–24 травня 2018 року) - Тернопіль: ТНТУ, 2018. – с. 259-260.

3. Системы связи с шумоподобными сигналами. Варакин Л.Е. - М. Радио и Связь, 1985 - 384 с.

УДК 681.518:621.31

Андрій Паламар
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ INTERNET OF THINGS

В роботі запропонована структура системи дистанційного моніторингу параметрів джерел безперебійного електроживлення, що реалізована на основі концепції Internet of Things.

Ключові слова: джерело безперебійного живлення, моніторинг, інтернет речей.

Andriy Palamar

COMPUTER SYSTEM FOR PARAMETERS MONITORING OF UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY BASED ON THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

The structure of the computer system for remote parameters monitoring of uninterruptible power supply based on the Internet of Things concept is proposed.

Keywords: uninterruptible power supply, monitoring, internet of things.

В сучасному суспільстві надзвичайно важливим є забезпечення стабільності і надійності електропостачання об'єктів критичної інфраструктури – таких, як медичні заклади, банківські установи, системи зв'язку, комунікації тощо. Для цього використовують промислові джерела безперебійного живлення (ДБЖ), які забезпечують безперервне електропостачання обладнання споживачів протягом тривалого часу у випадку збою в електромережі.

Крім забезпечення якісного, безперебійного, ефективного і надійного живлення електрообладнання, сучасні ДБЖ повинні володіти функціями моніторингу вхідних та вихідних параметрів, діагностичного контролю стану силових модулів, тестування ємності акумуляторних батарей тощо. Це допомагає вчасно виявити потенційні проблеми та прийняти рішення про необхідність проведення регламентних робіт, щоб уникнути появу можливих несправностей. Важливо отримувати інформацію про стан ДБЖ миттєво, для забезпечення швидкої реакції на нештатну ситуацію. Часто це важко забезпечити через віддаленість об'єкта моніторингу.

Актуальність роботи продиктована необхідністю забезпечення процесу дистанційного моніторингу параметрів промислових ДБЖ в режимі реального часу, що дозволить приймати рішення про необхідність проведення регламентних робіт до появи несправностей і відмов.

Метою даної роботи є розробка комп'ютерної системи для моніторингу параметрів ДБЖ, яка б могла збирати, накопичувати та передавати інформацію про стан ДБЖ в режимі реального часу.

Для досягнення поставленої мети у роботі запропоновано використати технологію Internet of Things для здійснення дистанційного моніторингу стану ДБЖ. Як відомо, Internet of Things (IoT) [1] – це глобальна мережа, яка містить взаємозв'язані між собою фізичні пристрої з вбудованими сенсорами, а також програмне забезпечення, яке здійснює обмін даними між комп'ютерними системами і фізичними предметами з використанням стандартних мережевих каналів зв'язку. Використання цієї технології суттєво збільшує можливості збору, аналізу і розподілу інформації.

Структура системи для моніторингу параметрів ДБЖ представлена на

рисунку 1.

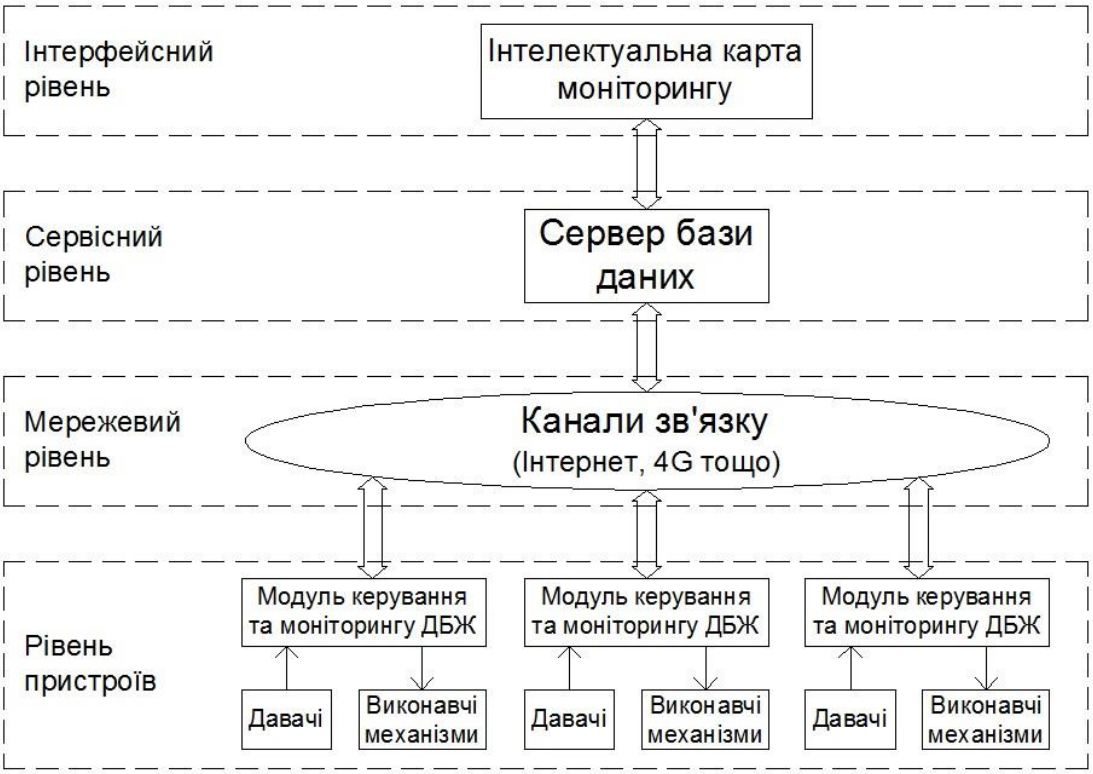


Рис. 1. Структурна схема системи для моніторингу параметрів ДБЖ на основі концепції Internet of Things

Система має ієрархічну структуру. На нижньому рівні знаходяться модулі керування та моніторингу стану для кожного ДБЖ підприємства, які розроблені на базі 32-розрядного мікроконтролера [2]. Вони відповідають за отримання даних від давачів, періодичне їх архівування у flash-пам'яті та передачу інформації на вищі рівні по каналах зв'язку мережевого рівня IoT.

На сервісному рівні знаходиться сервер бази даних, який призначений для збереження та накопичування інформації про стан усіх ДБЖ для подальшої обробки, аналізу та відображення.

Інтерфейсний рівень IoT містить інтелектуальну карту моніторингу – це спеціальне програмне забезпечення, яке призначене для візуального відображення поточного стану усіх ДБЖ підприємства та їх параметрів у зручній формі з прив'язкою до їхнього місця розташування. Інформація на карті змінюється миттєво в режимі реального часу, інформуючи оператора про появу критичних ситуацій.

Розроблена система моніторингу на основі технології Internet of Things дозволяє підвищити ефективність функціонування ДБЖ, допомагає підприємствам мінімізувати операційні витрати для обслуговування своїх критично важливих енергосистем.

Література

1. Atzori L. The Internet of Things: A survey / L. Atzori, A. Iera, G. Morabito // Computer Networks, vol. 54 (15), 2010. – pp. 2787–2805.

2. Паламар А.М. Комп'ютерна інформаційно-вимірювальна система для моніторингу пристроїв безперебійного електроживлення / А.М. Паламар, І.І. Осов'як // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції "Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми, перспективи", 23-27 лютого 2015 р. – Тернопіль: ТзОВ "Видавництво Астон", 2015. – с. 111-112.

УДК 510.589

Михайло Паламар д.т.н., проф., Михайло Стрембіцький к.т.н., Андрій Чайковський к.т.н., доц., Юрій Пастернак, Володимир Кругльов
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

НАВЧАННЯ ЗГОРТАЛЬНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

Запропоновано спосіб використання згортальних нейронних мереж для побудови системи розпізнавання зображення. Розглянуто класичні способи розпізнавання зображення. Наведено переваги використання згортальних нейронних мережі для побудови системи комп'ютерного зору.

Ключові слова: нейронна мережа, алгоритм навчання, комп'ютерний зір.

Mykhaylo Palamar, Mykhaylo Strembitskiy, Andrii Chaikovskyi, Yuriy Pasternak, Volodymyr Kruglov

STUDYING CLUSTER NEURAL NETWORKS FOR COMPUTER VISION

A method of using crimping neural networks for constructing an image recognition system is proposed. Classical ways of image recognition are considered. The advantages of using the curvilinear neural network for constructing a computer vision system are presented.

Keywords: neural network, learning algorithm, computer vision.

Вступ. Розпізнавання зображень, рукописних символів, картинок доволі важко формалізувати [1, 2]. Щодо розпізнавання рукописних символів, то існує база даних MNIST, яка містить 60000 навчаючих впар (зображення-мітка) і 10000 тестових (зображення без мітки). Усі зображення нормалізовані по розміру і відцентровані. Зокрема саме для розпізнавання тексті і зображень використовується система комп'ютерного зору.

Мета роботи: створення і навчання нейронної мережі для розпізнавання рукописних символів, приймаючи зображення на вході та активуючи один із 10 виходів.

У нейронній мережі прямого поширення сигналу кожний нейрон зв'язаний з нейронами наступного і попереднього шару. Сигнал проходить лише в напрямку від вхідного шару до вихідного без використання рекурсій або ліній затримки [3]. Спочатку необхідно вирішити завдання яким чином подавати дані на вхід. Найпростіший спосіб і майже безальтернативний – це виділити двохмірну матрицю зображення і подати її у вигляді одномірного вектора. Тобто для зображення розміром 28x28 потрібно використати 784 входів, що є не дуже мало.

Існує багато різних методик для вибору параметрів нейронної мережі, одна із таких методик стверджує, що кількість нейронів проміжного шару повинна бути хоча б на порядок більшою за кількість входів. Приймаючи такі твердження нейронна мережа матиме порядку 15000 нейронів.

Згортальні нейронні мережі. Вирішення проблеми великої кількості нейронів було знайдено американським ученим французького походження Яном ЛеКуном, він запропонував використовувати так звані загортальні нейронні мережі [4, 5].

Ідея загортальних нейронних мереж полягає в чергуванні загортальних шарів (C-layers), субдискретизируючих шарів (S-layers) і наявності повнозвязних (F-layers) шарів на виході [6, 7].

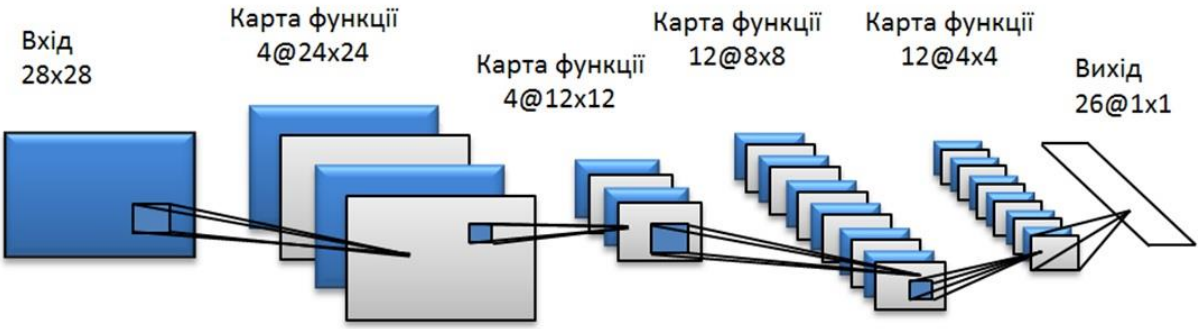


Рис. 1. Архітектура загортальної нейронної мережі

Така архітектура включає в себе 3 основних парадигми:

1. Локальне сприйняття.
2. Розділювальні ваги.
3. Субдискретизація.

Локальне сприйняття полягає в тому, що на вхід одного нейрона подається не все зображення (або вихід попереднього шару), а лише деяка ділянка. Такий підхід дозволяє зберегти топологію зображення від шару до шару.

Концепція розділених ваг передбачає, що для більшої кількості зв'язків використовується не великий набір вагових коефіцієнтів. Тобто для вхідного зображення розмірами 32x32 пікселі кожен з нейронів наступного шару прийме лише невелику ділянку розміром наприклад 5x5, причому кожен з фрагментів буде опрацьований одним і тим же набором [8]. Самих наборів ваг може бути багато, однак кожен з них буде застосовуватися до всього зображення. Такі набори називаються ядрами (kernels). Тоді для 10 ядер розміром 5x5 для вхідного зображення розмірами 32x32 кількість зв'язків буде дорівнювати 256000, а кількість налаштовуваних параметрів лише 250.

Такий підхід для розпізнавання дає кращі результати, оскільки штучно введено обмеження на ваги покращує узагальнюючі властивості мережі (generalization), що у підсумку позитивно відображається на властивості мережі знаходити інваріанти в зображенні і реагувати головним чином на них, не приймаючи до уваги інший шум. При класичному розпізнаванні зображень системи будуються на основі двохмірних фільтрів. Фільтр являє собою матрицю коефіцієнтів, зазвичай задану вручну. Така матриця застосовується до зображення з допомогою математичної операції згортки.

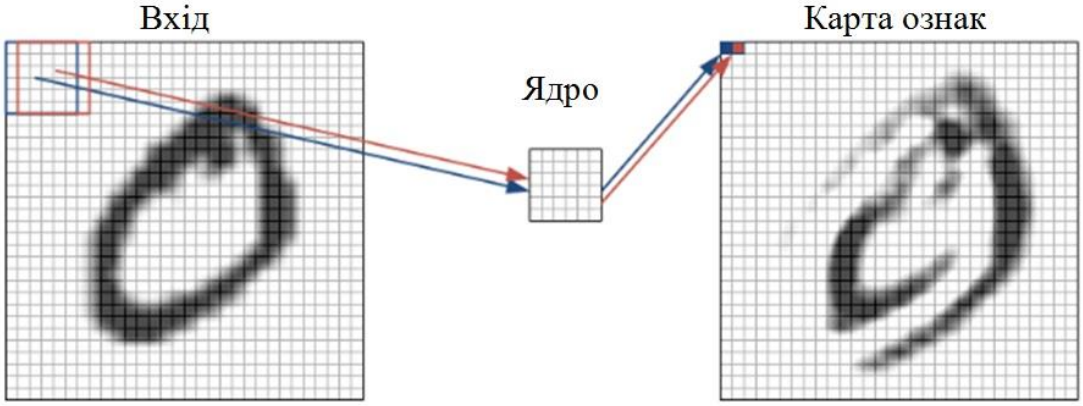


Рис. 2. Фрагментування зображення при використанні ядра

Суть такої операції в тому, що кожний фрагмент зображення перемножується на матрицю (ядро) згортки поетапно і результат додається і записується в аналогічну позицію вихідного зображення. Образ зображення згорнутий з деяким ядром дасть інше зображення, кожний піксель якого буде означати степінь схожості фрагмента зображення на фільтр. Тобто отримаємо карту ознак.

Кожен фрагмент зображення поелементно перемножується на невелику матрицю ваг (ядро), результат додається. Ця сума є пікселем вихідного зображення, яке називається картою ознак. Зважена сума входів ще пропускається через функцію активації (що є обов'язковим для будь-якої нейронної мережі), це може відбуватися і в S-шарі. Варто відмітити, що в ідеалі не різні фрагменти проходять послідовно через ядро, а паралельно все зображення проходить через ідентичні ядра. Окрім цього кількість ядер (наборів ваг) визначається розробником і залежить від того яку кількість ознак необхідно виділити. Ще одна особливість загорткового шару в тому, що він дещо зменшує зображення за рахунок крайових ефектів. Суть субдискретизації та S-шарі полягає в зменшенні просторової розмірності зображення. Тобто вхідне зображення зменшується на задану кількість раз. Частіше за все в 2 рази, хоча може бути і не рівномірне зменшення, наприклад, 2 по вертикалі та 3 по горизонталі. Субдискретизація потрібна для забезпечення інваріантності до масштабу.

Чергування шарів дозволяє складати карти ознак і карти подібностей, що на практиці означає властивість розпізнавати складні ієрархічні ознаки. Після проходження декількох шарів карта ознак вироджується в вектор або навіть скаляр, однак таких пар ознак формується сотні. В такому вигляді вони подаються на один-два шари повнозв'язної нейронної мережі. Вихідний шар такої мережі може мати різні функції активації. В простому випадку можу бути тангенціальна функція, також успішно використовуюються радіальні базисні функції.

Навчання загортальної нейронної мережі. Для навчання нейронної мережі потрібно визначити як буде змінюватися якість розпізнавання. В нашому випадку для цього було використано поширену в теорії нейронних мереж функцію середньоквадратичної похибки [2].

$$E^p = \frac{1}{2}(D^p - O(I^p, W))^2 \quad (1)$$

де E_p – похибка розпізнавання для p-тої навчаючої пари;

D_p – бажаний вихід мережі;

$O(I_p,W)$ – вихід мережі, який залежить від p-того входу і вагових коефіцієнтів W, куди входять ядра згортки, зміщення, вагових коефіцієнтів S - та F - шарів.

Завдання навчання полягає у налаштуванні ваги W таким чином, щоб вони для будь-якої навчальної пари (I_p, D_p) давали найменшу похибку E_p. Розрахунок похибки для всіх навчальних вибірок, відбувається вибором середньо арифметичного по похибках для всіх навчальних пар. Таку усереднену похибку позначимо як E.

Для мінімізації функції помилки E_p самими ефективними є градієнтні методи. Якщо розкласти в ряд Тейлора функцію помилки E_p, то отримаємо наступний вираз:

$$E(W) = E(W_C) + (W - W_C)\frac{dE(W_C)}{dW} + \frac{1}{2}(W - W_C)^2\frac{d^2E(W_C)}{dW^2} + \cdots \quad (2)$$

де E – функція помилок;

W_c – деяке початкове значення ваг.

Для знаходження максимуму функції візьмемо похідну помилки по вагах, не враховуючи члени вище 2-го порядку:

$$\frac{dE(W)}{dW} = \frac{dE(W_C)}{dW} + (W - W_C)\frac{d^2E(W_C)}{dW^2} \quad (3)$$

З цього вираз отримаємо, що ваги, при яких значення функції помилки буде мінімальним вирахуємо з наступного виразу:

$$W_{min} = W_C - \left(\frac{d^2E(W_C)}{dW^2}\right)^{-1} \frac{dE(W_C)}{dW} \quad (4)$$

Тобто оптимальне вагове значення обчислюється як поточне значення мінус похідна функції помилки по ваговому значенню, розділена на другу похідну від функції помилки. Для багатовимірного випадку (тобто для матриці ваг) все так само, лише перша похідна перетворюється в градієнт (вектор часткових похідних), а друга похідна перетворюється в Гесіан (матрицю других часткових похідних).

І тут виділимо два варіанти. Якщо опустити другу похідну, то отримаємо алгоритм найшвидшого градієнтного спуску. Гессіан замінимо простішим Левенберга-Марквардта (ЛМ), його апроксимацією квадрадним якобіаном.

Алгоритм ЛМ вимагає обробки всієї навчальної вибірки, тоді як алгоритм градієнтного спуску може працювати з кожною окремо взятою навчальною вибіркою. В останньому випадку алгоритм назвемо стохастичним градієнтом. З огляду на, що база містить 60000 навчальних зразків нам більше придатним буде стохастичний градієнт. Ще однією перевагою стохастичного градієнта є його менша схильність потрапляння в локальний мінімум в порівнянні з алгоритмом ЛМ.

Висновок. Представлені формули дозволяють легко обчислити похідну помилки для вагових коефіцієнтів нейронної мережі. Розглянутий підхід для розпізнавання зображень дає кращі результати, порівняно із традиційними методами, оскільки штучно введено обмеження на вагові коефіцієнти покращує узагальнюючі властивості мережі, що позитивно відображається на властивості мережі знаходити подібні зображенні, навіть в умовах дії шумів.

Література

1. Charles C. Tappert, Sung-Hyuk Cha: English Language Handwriting Recognition Interfaces. Text Entry Systems, ed. MacKenzie and Tanaka-Ishii, Morgan Kaufman, 2007.

2. Степашко П.В Огляд наявних підходів до розв'язання задачі розпізнавання рукописного тексту // Індуктивне моделювання складних систем, № 5, 2013, м. Київ – с. 278 – 287.

3. Zhang G.P.: Neural networks for classification: a survey. IEEE Transactions onSystems, Man, and Cybernetics, 2000 - Part C: Applications and Reviews, 30(4):451-462.

4. Y. LeCun and Y. Bengio: Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series, in Arbib, M. A. (Eds), The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995.

5. Y. LeCun, L. Bottou, G. Orr and K. Muller: Efficient BackProp, in Orr, G. and Muller K. (Eds), Neural Networks: Tricks of the trade, Springer, 1998.

6. Nielsen M. [Електронний ресурс]: Neural Networks and Deep Learning. – 2017. – Режим доступу:http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap2.html.

7. Семенов С. Г. Інтелектуальна система контролю станунебезпечних ділянок залізничного шляху / С. Г. Семенов, О. В. Ліпчанська // Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Сучасні інформаційні системи. Т. 2, № 2, 2018., Харків – с. 89 – 93.

8. Стрембіцький М. О. Selection of the efficient video data processing strategy based on the analysis of statistical digital images characteristics / Михайло Паламар, Мирослава Яворська, Михайло Стрембіцький, Володимир Стрембіцький // Вісник Тернопільського національного технічного університету, - Тернопіль, 2018. № 3 (91) – С. 107-114.

УДК 621.326

Михайло Паламар, д.т.н., проф.[1], Мирослава Яворська, к.т.н., доц.[1], Володимир Суходольський[2]

[1]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

[2]Національний центр управління і випробування космічних засобів, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КРОКУЮЧОГО РОБОТА

Розглянуто моделювання крокуючого механізму, побудованого на основі системи взаємозв'язаних нелінійних осциляторів.

Ключові слова. Крокуючий робот, S-модель, нелінійний осцилятор.

Mykhaylo Palamar, Myroslava Yavorska, Volodymyr Sukhodol'skyi

THE ROBOT WALKING SIMULATION

The simulation of a stepping mechanism constructed on the basis of a system of interconnected nonlinear oscillators is considered.

Keywords. stepping robot, S-model, nonlinear oscillator.

Розглянуто моделювання в середовищі MATLAB SIMULINK крокуючого механізму, побудованого на основі системи взаємозв'язаних нелінійних осциляторів. Процес переміщення механізму представлено системою диференційних рівнянь Релея (1) відносно кутів φ_1, φ_2, φ_3, доповнених співвідношеннями, що враховують зв'язки між ними (рис.1).

$$\ddot{\varphi}_1 = k_1\left(1 - \varepsilon_1 \dot{\varphi}_1{}^2\right)\dot{\varphi}_1 - \omega_1^2(\varphi_1 - \varphi_{10}) + c_{12}\dot{\varphi}_2(\varphi_2 - \varphi_{20}) + c_{13}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_3)$$

$$\ddot{\varphi}_2 = k_2\left(1 - \varepsilon_2 \dot{\varphi}_2{}^2\right)\dot{\varphi}_2 - \omega_2^2(\varphi_2 - \varphi_{20}) + c_{21}\dot{\varphi}_2(\varphi_1 - \varphi_{10}) + c_{23}\dot{\varphi}_3(\varphi_3 - \varphi_{30}) \quad (1)$$

$$\ddot{\varphi}_3 = k_3\left(1 - \varepsilon_3 \dot{\varphi}_3{}^2\right)\dot{\varphi}_3 - \omega_3^2(\varphi_3 - \varphi_{30}) + c_{32}\dot{\varphi}_2(\varphi_2 - \varphi_{20}) + c_{31}(\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_1)$$

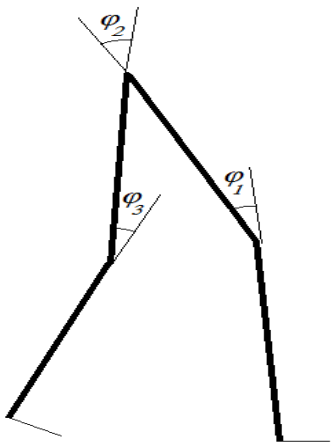


Рис. 1. Вибір змінних для опису процесу переміщення

Для випадку малих значень параметрів k, ε, що характеризують нелінійність системи, в [1] динаміку φ_1, φ_2 φ_3 досліджено за розвязком (1), знайденим у вигляді гармонічного процесу. Такий підхід виключає з розгляду низку можливих ситуацій, коли нелінійності в системі мають відчутніший вплив.

Запропоноване моделювання часової поведінки φ_1, φ_2 φ_3 на розробленій на основі (1) S-моделі приведеній на рис.2, дозволяє досліджувати даний процес в ширшому діапазоні зміни параметрів системи.

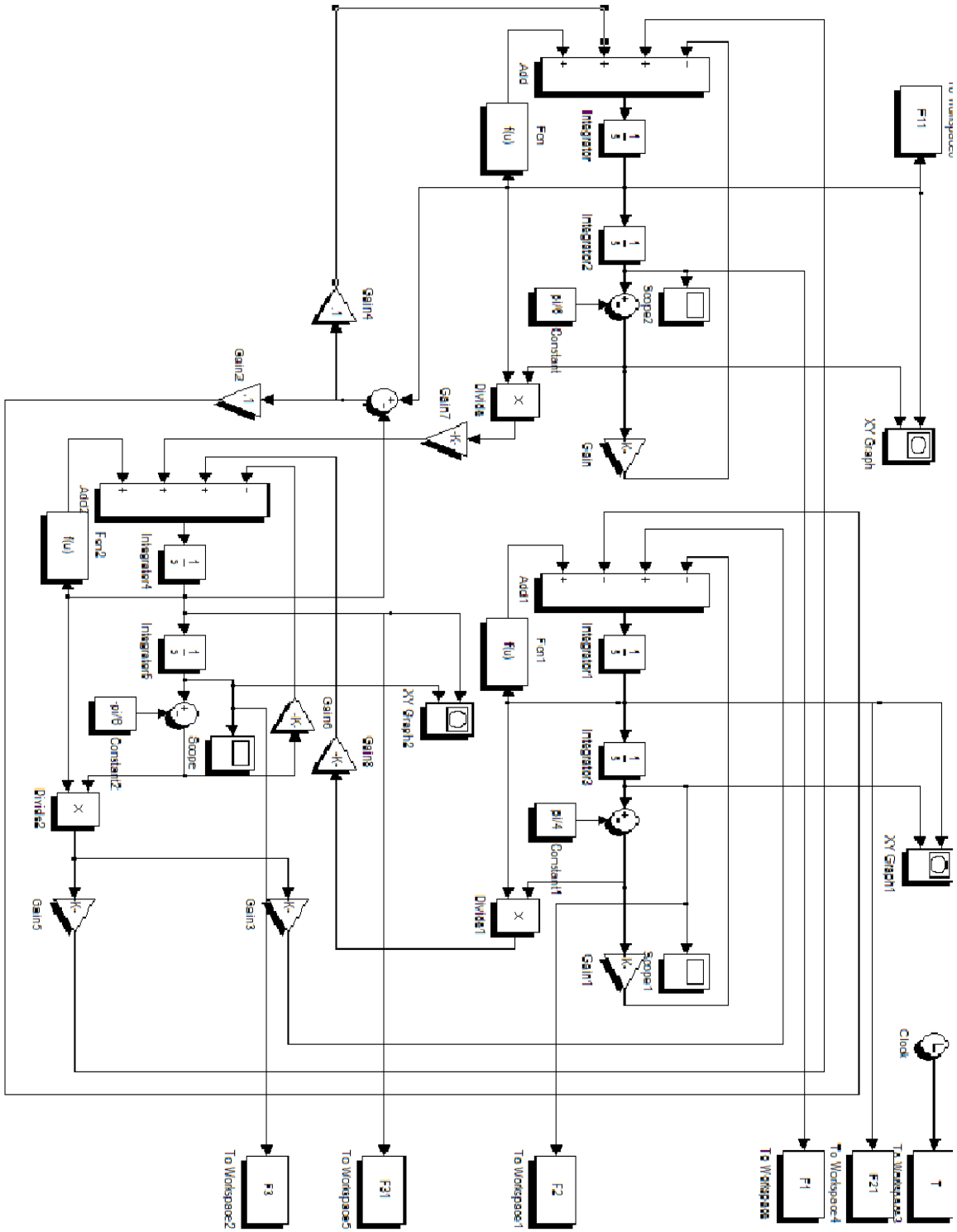


Рис. 2. S -модель крокуючого механізму крокуючого механізму

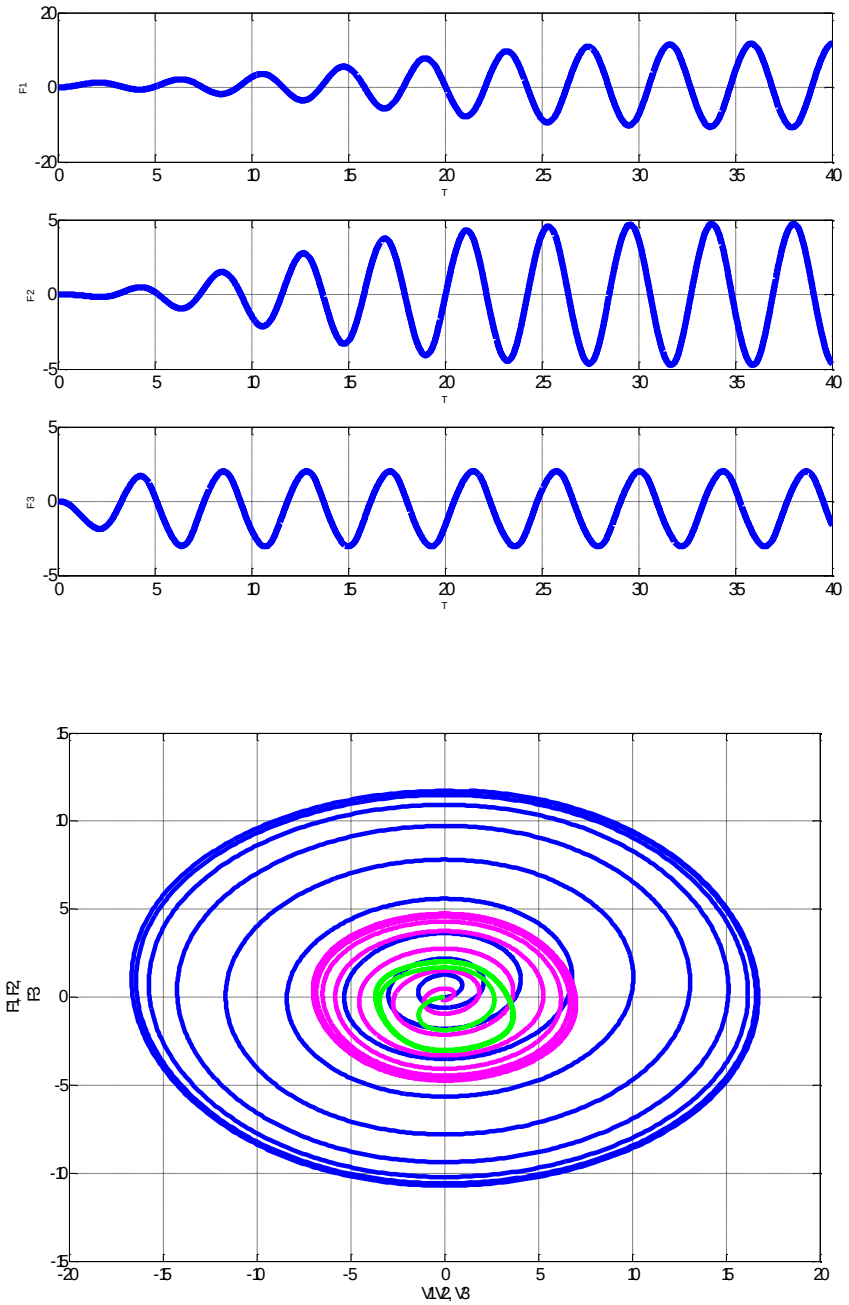


Рис. 3. Зміна $\varphi_{1,}$ φ_2 φ_3 та фазовий портрет системи при переміщенні крокуючого механізму в лінійному режимі

Розроблена модель може служити як для проектування і симулювання системи автоматичного керування крокуючим маніпулятором, так і для демонстрації і вивчення механізму пересування біологічного об'єкта. На рис.3,4 приведено часові залежності для кутів $\varphi_{1,}$ φ_2 φ_3 при пересуванні крокуючого маніпулятора та фазові портрети системи, описаної співвідношеннями (1), в лінійному і нелінійному режимах функціонування. Вона також дозволяє шляхом підбору відповідних параметрів k_i, ε_i, c_{ij} $i, j = 1,2,3$ встановлювати оптимальні режими, забезпечувати стійкість

проектованої системи чи вивчати екстремальні випадки поведінки предмету дослідження.

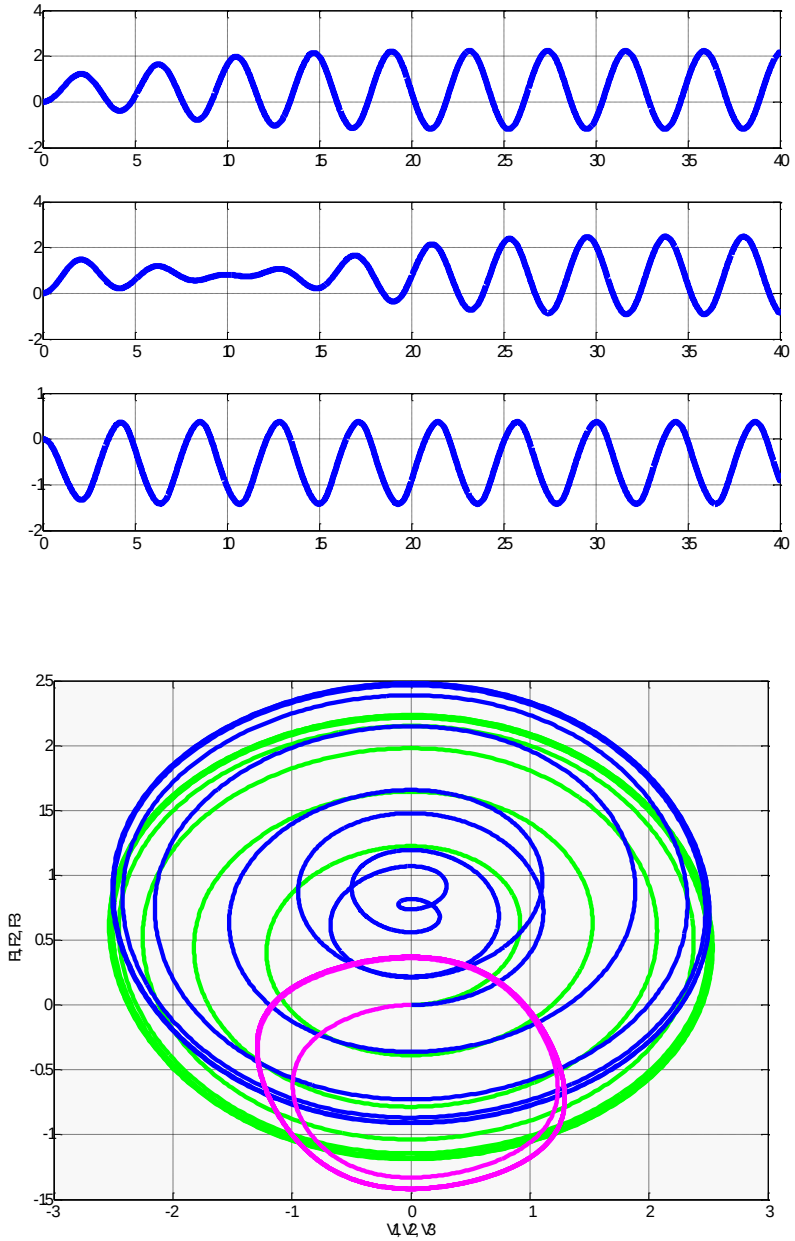


Рис. 4. Зміна φ_1, φ_2 φ_3 та фазовий портрет системи при переміщенні крокуючого механізму в нелінійному режимі.

Література

1. Simulating the Hip and Knee Behavior jf a Dipped by Means of Nonlinear Oscilators. Armando Carlos

УДК 004.77

Михайло. Петрик, д. ф.-м. н., проф., Петро Теслюк
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ERP-СИСТЕМ ДЛЯ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Проаналізовано тенденції розвитку ERP – систем, виявлено проблеми, які проявляються в процесі діяльності підприємства. Розглянуто найважливіші задачі, які постають перед аграрними підприємствами. Дано пропозиції з їх вирішення засобами автоматизації виробництва. Визначено основні тенденції розвитку ERP-систем для аграрних підприємстві.

Ключові слова: інформаційна система, модель, ERP-системи, автоматизація виробництва.

M.R Petryk, Ph. D., P.P. Tesliuk

THE MAIN TENDENCIES OF THE DEVELOPMENT OF ERP-SYSTEMS FOR AGRARIAN ENTERPRISES

The tendencies of development of ERP-systems are analyzed, problems, which are manifested in the process of activity of the enterprise, are revealed. The most important tasks facing agrarian enterprises are considered. The proposals on their solution by means of automation of production are given. The basic tendencies of ERP-systems development for agrarian enterprises are determined.

Keywords: information system, model, ERP-systems, automation of production.

Виробничі підприємства – це фундамент економіки будь-якого суспільства. Питання контролю за виробництвом продукції й управління підприємством набувають першорядного значення в умовах переходу від індустріального суспільства до інформаційного, що є однією з провідних тенденцій в усіх розвинутих країнах світу. В основі базової ідеології сучасної системи управління підприємством на Заході лежить система планування ресурсів підприємства (ERP – Enterprise Resource Planning).[1]

Нині практично в усіх сферах промисловості підприємства стикаються з наступними тенденціями:

– збільшення кількості споживачів продукції та постачальників сировини, матеріалів і комплектуючих;

– необхідність різкого підвищення якості продукції, зниження її собівартості для збереження конкурентноздатності, в тому числі й на зарубіжних ринках;

– необхідність оптимального управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками в синергетичному взаємозв'язку.

Ефективне управління промисловими підприємствами в цілому та ресурсними потоками, зокрема, вимагають застосування сучасних концепцій управління, швидкого реагування на зміну ситуації, що в свою чергу, не можливе без точної, вичерпної інформації про стан виробничих, фінансових й інших ресурсів підприємства.[2] Однією з основних можливостей підвищення ефективності технологічного процесу залишається його автоматизація.

Підвищення ефективності використання виробничих ресурсів підприємства можливе тільки в тому випадку, якщо управління виробничими процесами на всіх ієрархічних рівнях буде узгоджене. Прикладом сучасних корпоративних інформаційних систем є ERP–система, яка розробляється та впроваджується у різних

країнах світу, в тому числі й на вітчизняних підприємствах та організаціях. За різними оцінками нині на світовому ринку більше 500 корпоративних інформаційних систем. На ринку ERP-систем безперечними лідероми є компанії SAP AG, Oracle, J. D. Edwards, PeopleSoft, Baan. На них припадає більше половини обсягу даного ринку. .[5] Крім того, помітне місце на ринку корпоративних інформаційних систем займають такі компанії; Brain; Sage Group; Symix Systems; Geac Computer; SCT; IBS; Epicor Software; QAD/BMS; Exact Software; IFS і ряд інших.

Система MRPII (Manufacturing Resource Planning) – є сучасним стандартом для управління промисловим підприємством. Він підтримується Американським Товариством із контрлю за виробництвом і запасами – APICS (American Production and Inventory Control Society), MRPII – це «метод ефективного планування всіх ресурсів виробничого підприємства.[3] В ідеалі він дає змогу здійснювати виробниче планування в натуральних одиницях виміру, фінансове плануванні – у вартісних одиницях і дає можливість здійснювати моделювання різні умови[4]. Він складається з багатьох пов'язаних між собою функцій: планування продажів й операцій, планування виробництва, формування головного календарного плану виробництва, планування потреби в матеріалах, системи підтримки й виконання плану для виробничих потужностей та матеріалів. Вихідні дані від цих систем інтегруються з фінансовими звітами та документами, такими як бізнес-план, звіт про виконання закупівель, план відвантаження, прогноз запасів у вартісному виразі.[5]

В умовах трансформації економіки України доводиться працювати у жорстких конкурентних умовах, особливо, на міжнародних ринках збуту продукції. Найбільш характерними особливостями функціонування сучасного виробництва є динамічний, розгалужений виробничий процес; часті зміни технології, специфікацій виробів і рецептур; високі вимоги до якості напівфабрикатів і кінцевої продукції.

Конкурентне виробниче середовище вимагає від підприємств постійної турботи про підвищення власної ефективності. Впровадження корпоративної інформаційної системи, яка об'єднує всі ресурси компанії – один з кроків на шляху до цього. Корпоративна інформаційна система здатна відбивати стан усіх ресурсів, і представляти інформацію ерівникам для прийняття рішень з оперативного управління підприємством при плануванні.

Впровадження ERP-систем є одним з перспективних напрямів переходу виробництва на інноваційний шлях розвитку. Воно допомагає підприємству підвищити конкурентоспроможність продукції, більшити інвестиційну привабливість підприємств та розширити ринки збуту продукції;

Література

1. Чаплінський Ю.П. Використання знань для підтримки процесів аграрного консультування / Ю.П. Чаплінський, О.В. Субботіна //Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 139. – С. 144–149.
2. Кальна-Дубінюк Т.П. Сучасні інформаційно-консультаційні технології / Т.П. Кальна-Дубінюк // Збірник
3. наукових праць. Матеріали Міжнародної конференції «Форум вищої освіти», КПІ. – К., 2008. – С.54–57.
4. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Дэниел О'Лири, 2004 С. 145-153
5. Логистика. Интеграция процессов с помощью ERP-системы И. В. Балахонова, С. А. Волчков, В. А. Капитуров, 2006, С.350 — 380

УДК 621.326

Олег Петришин[1], Любомир Монастирський[1], професор; Андрій Власов[2], кандидат наук

1 Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна,
2 Львівський державний університет фізичної культури, м. Львів, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РОЗРОБЦІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІЇ

На основі акселерометричних даних знятих під час виконання вправ спортсмена, запропоновано використання оптимізованої системи реального часу для збору та первинної обробки даних. Запропоновано використання децентралізованої системи для зберігання та відображення даних. Застосовано основні підходи для систем реального часу при проектуванні та розробці програмного забезпечення мікроконтролерної системи з набором датчиків.

Ключові слова: Операційні системи реального часу (RTOS); акселерометричні дані; децетралізовані системи; мікроконтролерна система.

Oleh Petryshyn Ihorovych, Liubomyr Monastyrskij Stepanovych, Andrij Vlasov Petrovych

USAGE OF REAL-TIME OPERATING SYSTEMS WHEN DESIGNING AND DEVELOPING AN ACCELEROMETRIC DATA ACQUISITION SYSTEM

Based on the accelerometric data taken during the athlete's exercises, it is proposed to use an optimized real-time system for data collection and initial processing. Proposed to use decentralized system for data storage and visualization. Applied a basic methodology of real-time systems when designing and developing the software for microcontroller systems with a sensor set.

Keywords: Real-time operating systems (RTOS); accelerometric data; decentralized systems; microcontroller system.

Сучасні інтегральні системи використовують набір високорівневих підходів для забезпечення надійності, швидкості та якості роботи програмного забезпечення. Реалізація систем з підтримкою багатозадачності вимагала доволі великих обсягів ресурсів, також створювалось багато дотичних проблем, які були створені під час моделювання багатозадачних підходів та концепцій. Після впровадження нового підходу, часто віддавали перевагу розробці однозадачних підходів для вбудованих систем. Основною перевагою залишалась простота і швидкість розробки програмного забезпечення. Новітні технологічні розробки мікроконтролерних та мікропроцесорних систем дозволили розширити параметри продуктивності систем, обсяги пам'яті та енергоефективності. Підхід до розробки багатозадачних систем набуває все більшої популярності.

Операційні системи реального часу надають можливість використання уніфікованого підходу для розробки багатозадачної реалізації систем. Наприклад, використання незалежних завдань, що виконують певний набір інструкції, залишаються у лише своєму контексті. Виконання одного завдання повноцінно займає доступ до процесора, окрім системних переривань. У ході свого виконання, завдання можуть передати контроль іншим завданням, якщо вони очікують на отримання нових даних від системи або ж очікують на обробку системних подій. Вважається, що контроль для системних переривань є найпріорітетнішим, тобто найбільш критичнішим для функціонування звичайних завдань та взагалом роботи вбудованої

системи. Даний принцип роботи називають "витісняючий", оскільки тільки одне завдання може мати стан виконуваним у детермінованій системі. На рисунку 1 зображено приклад багатозадачної системи із двома завданнями. Завдання 1 забезпечує опрацювання зв'язку з безпровідним передавачем ESP8266MOD (ESP-12E) шляхом передачі та прийому AT-команд на основі UART інтерфейсу. Завдання 2 забезпечує опрацювання акселерометричних даних з набору послідовно підключених датчиків GY-521 на основі I2C інтерфейсу. Пріоритет завдання 1 є нижчим ніж завдання 2, оскільки більш пріоритетним є забезпечення зняття та накопичення акселерометричних даних для відправки пакету даних на центральний сервер.

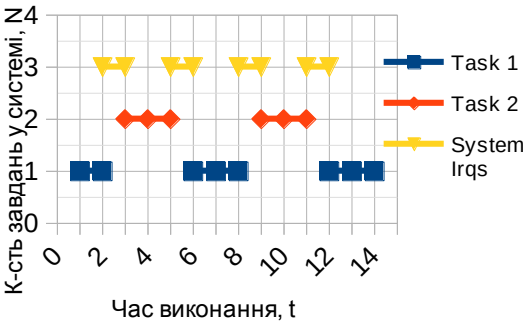


Рис. 1. Приклад системи "витісняючої" багатозадачності із двома завданнями та системними перериваннями.

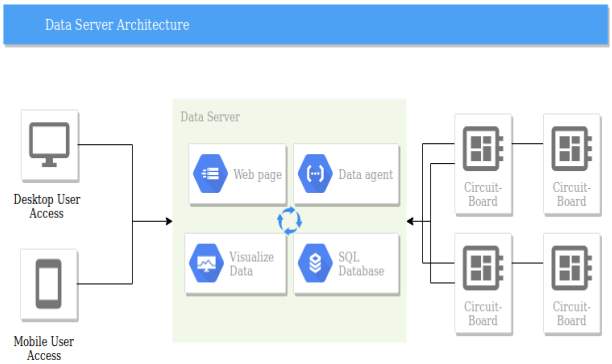


Рис. 2. Схема децетралізованої системи доступу до сервера.

У роботі розглядається розробка багатозадачної системи, що виконує опрацювання периферії, а саме підключеного модуля бездротового зв'язку ESP8266MOD (ESP-12E) та набору датчиків акселерометрії GY-521 (MPU-6050). В основі системи встановлюється вищий пріорітет на одержання та накопичення акселерометричних даних, а саме трьох-компонентних даних прискорення та трьох кутів положення гіроскопа з кожного датчика GY-521. Менш пріоритетним завданням залишається передача записаних даних у віддалене сховище, центральний сервер (рис. 2). Такий підхід децентралізує навантаження з мікроконтролерної системи на сервер для обробки користувацьких запитів про відображення інформації реального часу.

Література.

1. Монастирський Л. Моделювання рухів під час виконання лучниками стрілецьких вправ / Любомир Монастирський, Андрій Власов, Олег Петришин // Моделювання та інформаційні технології у фізичному вихованні і спорті : зб. матеріалів XIII Міжнар. наук. конф. – Львів, 2017. – С. 40–42.
2. A Gerstlauer, H Yu and D D Gajski, UC Irvine, US, "RTOS Modeling for System Level Design", DATE 2003
3. VARANIS, Marcus; SILVA, Anderson Langone; BRUNETTO, Pedro Henrique Ayres and GREGOLIN, Rafael Ferreira. Instrumentation for mechanical vibrations analysis in the time domain and frequency domain using the Arduino platform. Rev. Bras. Ensino Fís. [online]. 2016, vol.38, n.1, 1301. Epub Apr 01, 2016. ISSN 1806-1117. http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173812063.
4. Tejas Thaker, "ESP8266 based Implementation of Wireless Sensor Network with Linux Based Web-Server", 2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN).
5. https://www.freertos.org/
6. https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_V3%204.pdf
7. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf

УДК 004.312

Вадим Пуйденко, заступник директора з НВР, спеціаліст вищої категорії
Харківський радіотехнічний коледж, Україна

МАТЕМАТИЧНА ТА КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛІ БЛОКУ ДОСТОВІРНОСТІ КЕШ-ПАМ'ЯТІ АРХІТЕКТУРИ IA-32

В науково-дослідницькій праці автором вирішується задача синтезу функціональної логіки роботи блоку достовірності внутрішньої кеш-пам'яті при умовах промахів або заповнень рядків блоку даних.

Ключові слова: функціональна логіка, внутрішня кеш-пам'ять, блок достовірності, блок даних.

Vadym Puydenko

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELS OF THE MEMORY CACHE RELIABILITY UNIT OF THE IA-32 ARCHITECTURE

In the presented scientific research work the author solves the problem of synthesis of the functional logic of the work of the unit of reliability of the on-chip cache memory under the conditions of misses and filling the rows of the data block.

Keywords: functional logic, on-chip cache memory, unit of the reliability, data block.

Процесорне ядро, виконуючи свої цикли, в першу чергу адресно звертається до внутрішньої кеш-па'мяті по інструкції та операнди у вигляді послідовних 16 байтів. Фіксуючи подію промаху у внутрішній кеш-па'мяті, процесор ініціює свій шинний інтерфейс на цикл звертання до сегменту/сторінки коду з метою розташування в адресованому рядку L_i певної множини блоку даних чергової 16 байтної порції. Саме тоді для заповнення обирається один з чотирьох рядків L_i множини. Якщо у множині є недостовірний рядок (біт R_i = 0), то для заповнення обирається саме цей рядок L_i з наступним встановленням R_i^+ = 1 після запису (таблиця 1).

Табл. 1. Обрання рядка L_i серед недостовірних з модифікацією біту R_i

R_3	R_2	R_1	R_0	L_3	L_2	L_1	L_0	R_3^+	R_2^+	R_1^+	R_0^+
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1
0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1
1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1

На підставі вмісту таблиці 1 створимо відповідні карти Карно:

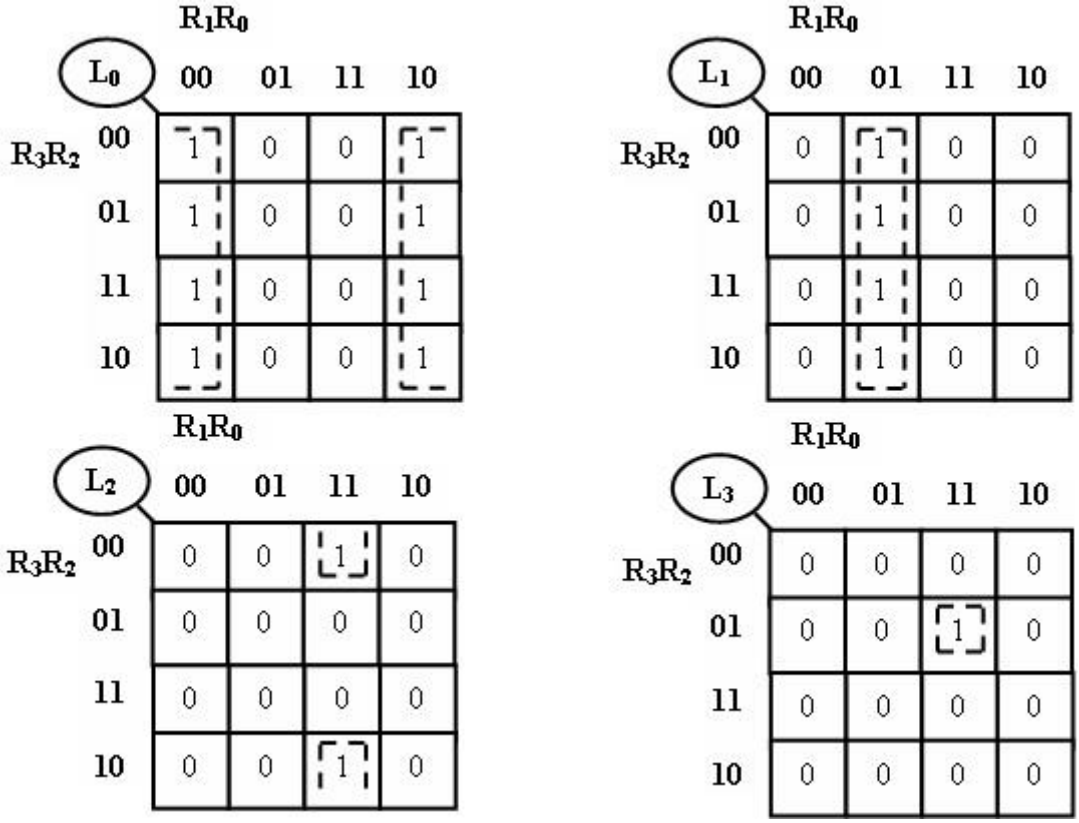


Рис. 1. Мінімізація логіки обрання рядків L_i серед недостовірних

Мінімальні логічні рівняння обрання певного рядка L_i (елемента) відповідної множини блоку даних набудуть вигляду:

$L_0= R_0$, $L_1=R_1\&R_0$; $L_2=R_2\&R_1\&R_0$; $L_3=R_3\&R_2\&R_1\&R_0$; (1)

На підставі отриманих мінімальних логічних рівнянь функціональна логіка модуля достовірності з урахуванням логічної функції нерівнозначності $R_i^+=f(L_i, R_i)$ буде такою:

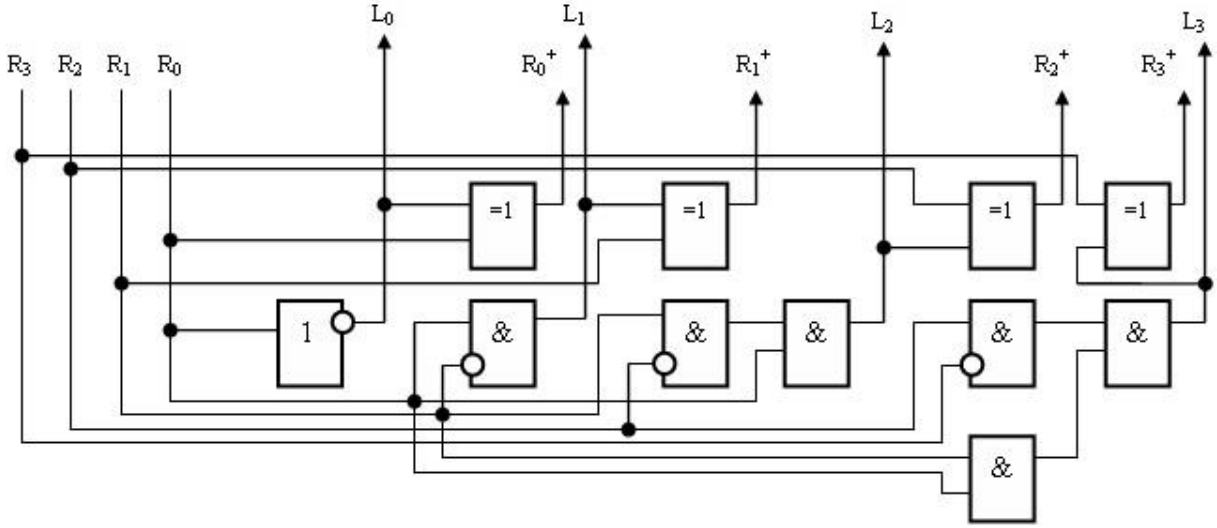


Рис. 2. Фрагмент функціональної логіки з урахуванням функції $R_i^+=f(L_i, R_i)$

Для вирішення проблеми перезапису станів бітів достовірності R та R^+ на одному такті T стає в нагоді ідея синтезу диференціального імпульсу dT, алгоритм роботи якого можна представити у вигляді спрямованого графу:

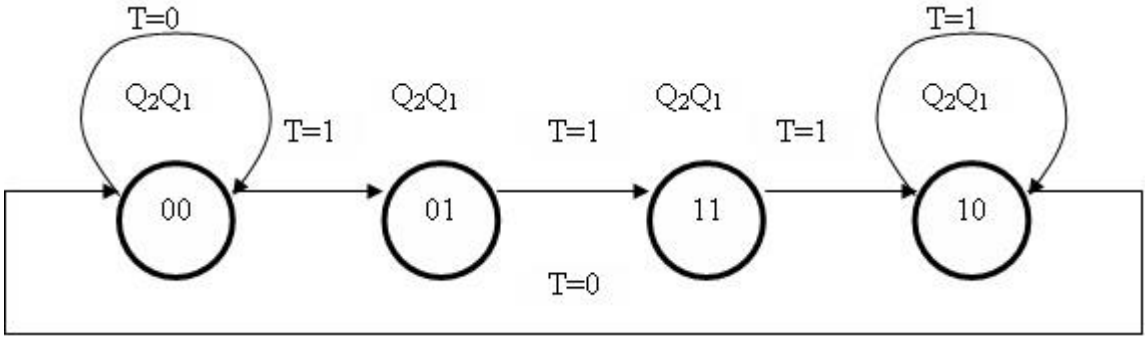


Рис. 3. Спрямований граф формування диференційного імпульсу dT

На підставі граф – схеми функціонування складемо відповідні карти Карно:

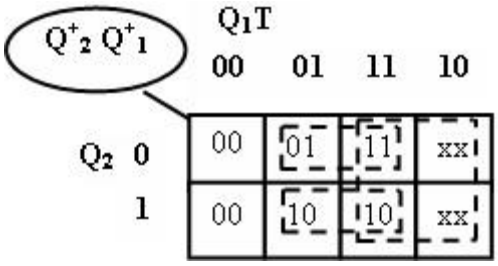


Рис. 4. Мінімізація логіки формування диференційного імпульсу dT

Отже, математична модель формувача диференційного імпульсу dT буде такою:

$$Q^+_2=Q_1 \vee Q_2T= \overline{\overline{Q_1} * \overline{Q_2T}};$$

$$Q^+_1= \overline{Q_2T}; \qquad (2)$$

З урахуванням отриманих мінімальних логічних рівнянь, функціональна логіка формувача диференційного імпульсу dT буде такою:

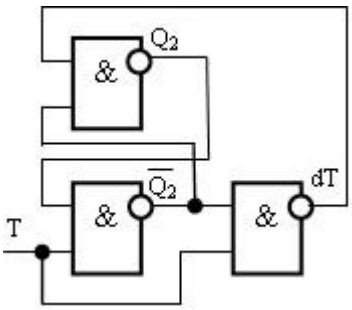
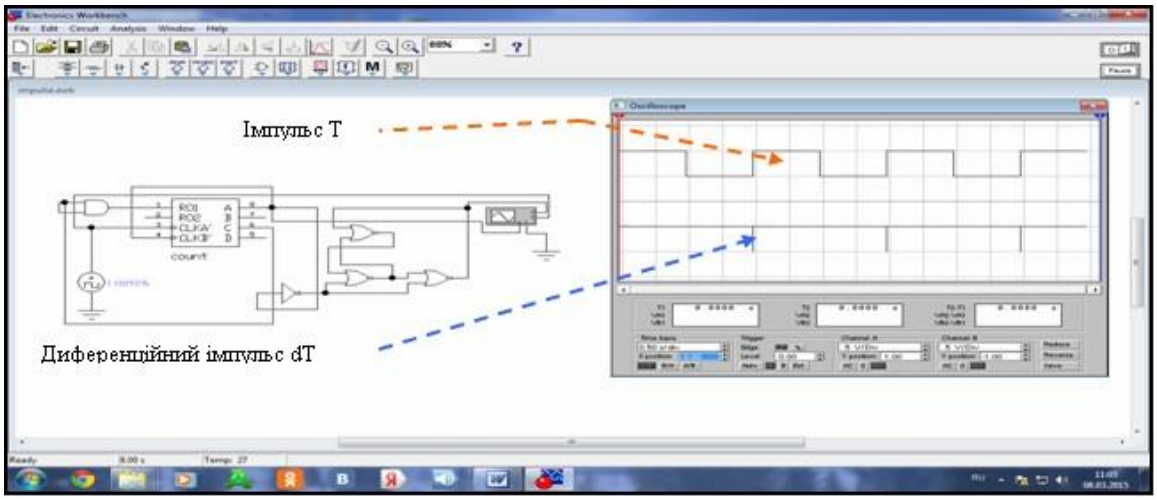


Рис. 5. Функціональна логіка формувача диференційного імпульсу dT

На підставі вище наведених математичних моделей модуля достовірності, формувача диференціального імпульсу та отриманих схемотехнічних рішень в середовищі комп'ютерного моделювання створимо відповідні комп'ютерні моделі:



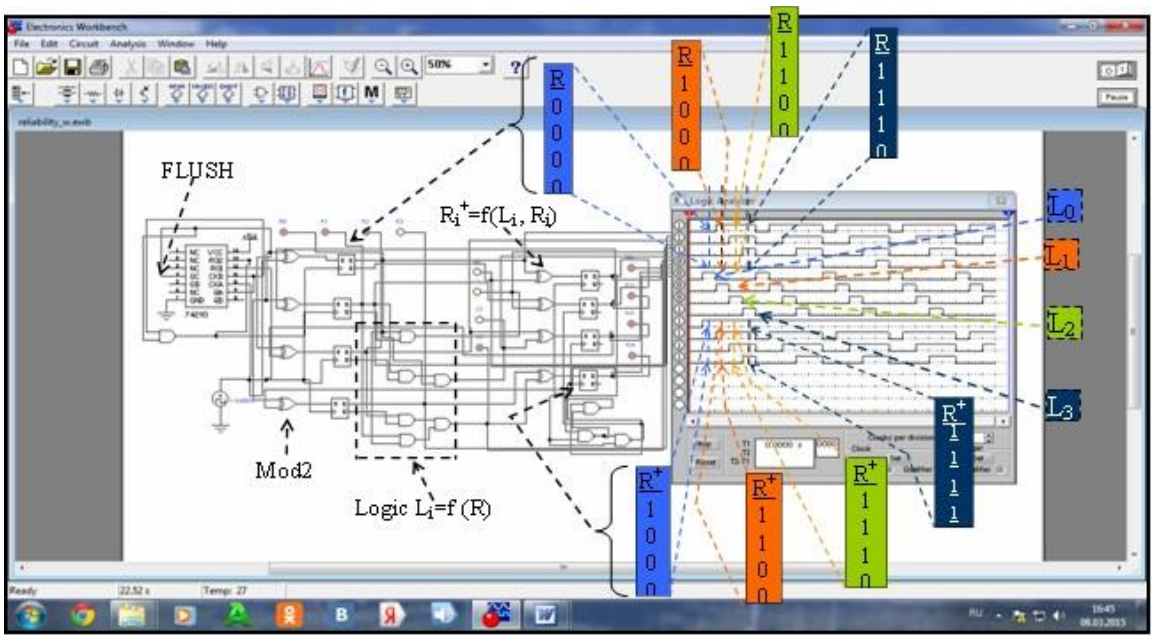


Рис. 6. Комп'ютерні моделі блоку достовірності та формувача імпульсу dT

Отримані в процесі моделювання діаграми часу комп'ютерних моделей повністю відповідають поставленим і вирішеним задачам синтезу, а синтезовані схемотехнічні рішення створюють конкретну апаратну уяву про досить абстрактну архітектуру пристрою та, можливо, складають альтернативу блокам достовірності внутрішньої кеш-пам'яті реальних процесорних ядер архітектури IA-32 .

Література

1. В.Л. Григорьев Микропроцессор i486. Архитектура и программирование. Книга 2,3,4. Аппаратная архитектура. – М., ГРАНАЛ, 1993. – с. 111, ил. 54

2. Брей Б. Микропроцессоры Intel: 8086/8088, 80186/80188, 80286, 80386, i486, Pentium, Pentium Pro, Pentium 2, Pentium 3, Pentium 4. Архитектура, программирование и интерфейсы. Шестое издание: Пер. с англ. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1328 с.: ил.

УДК 621.8

Роман Рогатинський, д.т.н., проф., Олена Дмитрів, к.т.н., доц., Дмитро Дмитрів, к.т.н., доц., Юрій Никеруй
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПОЗИЦІЮВАННЯ СКЛАДНИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Представлена модифікована математична модель керування маніпулятором чи транспортно-технологічною системою з використанням методу Денавіта-Хартенберга, яка дозволяє поліпшити позиціонування рухомих об'єктів. Модель призначена для використання в високоточних і швидкодіючих системах автоматичного керування для маніпуляторів і транспортно-технологічних систем.

Ключові слова: позиціонування, маніпулятор, транспортно-технологічна система, управління, перетворення Денавіта-Хартенберга.

Roman Rogatynskyi, Olena Dmytriv, Dmytro Dmytriv, Yuriy Nykerui

POSITIONING OF COMPLICATED OBJECTS IN THE MOVING

A modified mathematical model of manipulator control or transport-technological system using the Denavit-Hartenberg method is presented. Its use allows improving the positioning of objects when moving. The model is intended for use in high-precision and high-speed automatic control systems for manipulators and transport-technological systems.

Keywords: positioning, manipulator, transport-technological system, control,. Denavit-Hartenberg method.

Переміщення об'єктів в автоматизованих транспортних системах пов'язане з постійним контролем його позиціонування як в місці завантаження (захоплення) та вивантаження (встановлення), так і в процесі його переміщення транспортними засобами. Особливо це важливо для складних об'єктів при виконанні різних технологічних операцій, при яких елементи (поверхні) об'єктів, які переміщуються, мають позиціонуватись відносно базових поверхонь схватів, транспортних систем чи інших об'єктів. При цьому об'єкти на етапі схоплення маніпулятором чи подачі на транспортно-технологічну систему, а також при вивантажені можуть вільно переміщатись, тобто мати складові лінійних та кутових швидкостей.

Для відслідковування позиціонування об'єктів використовується низка методів, наприклад, метод однорідних перетворень Денавіта-Хартенберга, з використанням матриць поворотів [1]. Для дослідження характеристик точності маніпуляторів та транспортно-технологічних систем відомі дещо розширені матриці за рахунок введення додаткових змінних параметрів, що відтворюють випадковість виникнення похибок і т.д. Проте використання відомих методів є ефективним, коли позиціонування деталей забезпечується керованим переміщенням ланок маніпулятора чи транспортно-технологічної системи. При необхідності узгодження руху захвату маніпулятора із об'єктом, що рухається з багатьма ступенями вільності, виникають похибки відносного позиціонування об'єкту із схватом маніпулятора та приймальними робочими поверхнями транспортно-технологічної системи. Це пов'язано з тим, що, при використанні методу однорідних перетворень Денавіта-Хартенберга, в залежності від черговості надання кутових переміщень об'єкту в його вільному русі відносно систем координат, ми отримаємо похибку кутового позиціонування.

Метою дослідження є модифікація методу Денавіта-Хартенберга з побудовою матриць однорідних перетворень, які інваріантні відносно вибору черговості переміщень за координатними осями.

У загальному випадку об'єкт A разом із власною системою $O^x^y^z^$ координат у базовій інерційній системі $Oxyz$, утворює складний рух. Осі $O^x^$, $O^y^$, $O^z^$ направляємо по осях головних осей інерції, а центр системи $O^$ поміщаємо в центр ваги об'єкту A. В інерційній базові системі координат центр системи $O^$ має біжучі координати $x_0(t) = v_x t$, $y_0(t) = v_y t$, $z_0(t) = v_z t$. Крім цього об'єкт у власній системі координат має вільне обертання навколо певної осі обертання з кутовою швидкістю $\overline{\omega}^\wedge = \omega_x^\wedge \cdot \bar{i}^\wedge + \omega_y^\wedge \cdot \bar{j}^\wedge + \omega_z^\wedge \cdot \bar{k}^\wedge$. Приріст кутових переміщень відповідно кожної з осей координат буде $\Delta\varphi_i^\wedge(t) = \omega_i^\wedge t$. Для погодження взаємозв'язку кутових переміщень об'єкта в базовій та власній системі координат додатково введено проміжну систему координат об'єкту $O_A x_A y_A z_A$ осі якої розміщені паралельно осям інерційної системи координат, а центр якої розміщається в центрі ваги об'єкту ($O_A \equiv O^\wedge$).

Перехід від системи координат $Oxyz$ до $O_A x_A y_A z_A$ та $O^x^y^z^$ та навпаки проводиться у однорідних системах координат: інерційній $\zeta_x\zeta_y\zeta_z\zeta$ та власній $\zeta_x^\wedge\zeta_y^\wedge\zeta_z^\wedge\zeta^\wedge$, де $\zeta=\zeta^\wedge$ - масштабний множник. Для об'єктів незмінного об'єму $\zeta= \zeta^\wedge =1$; Тут ζ_i та $\zeta_i^\wedge$- координати однорідних систем, що відповідають таким координатам:.

$x= \zeta_x/\zeta$; $y= \zeta_y/\zeta$; $z= \zeta_z/\zeta$; $x^\wedge= \zeta_x^\wedge/\zeta^\wedge$; $y^\wedge= \zeta_y^\wedge/\zeta^\wedge$; $z^\wedge= \zeta_z^\wedge/\zeta^\wedge$.

Відповідно, при $\zeta^\wedge= \zeta = 1$ зв'язок між інерційними та власними координатними системи має вигляд:

$$\begin{aligned} \zeta_x = x\zeta &= \alpha_{11}\zeta_x^\wedge+\alpha_{12}\zeta_y^\wedge+\alpha_{13}\zeta_z^\wedge+x_0(t)\zeta^\wedge; \\ \zeta_y = y\zeta &= \alpha_{21}\zeta_x^\wedge+\alpha_{22}\zeta_y^\wedge+\alpha_{23}\zeta_z^\wedge+y_0(t)\zeta^\wedge; \\ \zeta_z = z\zeta &= \alpha_{31}\zeta_x^\wedge+\alpha_{32}\zeta_y^\wedge+\alpha_{33}\zeta_z^\wedge+z_0(t)\zeta^\wedge. \end{aligned} \tag{1}$$

де α_{ij} — направляючі косинуси між осями базової і власної систем координат.

Матричний запис перетворення матиме вигляд:

$$M(R) = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & x_0(t) \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & y_0(t) \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & z_0(t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} M(R^\wedge) = \Pi(\alpha)M(R^\wedge) = \Pi_v\Pi_w M(R^\wedge), \tag{2}$$

де $M(R)=|x\ y\ z\ 1|^T$ - матриця, що задає координати довільної точки об'єкта в загальній системі координат $Oxyz$ і відповідає вектору $\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i}+y(t)\mathbf{j}+z(t)\mathbf{k}$; $M(R^\wedge)=|x^\wedge\ y^\wedge\ z^\wedge\ 1|^T$ - матриця, що відповідає вектору $\mathbf{r}^\wedge(t)=x^\wedge(t)\mathbf{i}+y^\wedge(t)\mathbf{j}+z^\wedge(t)\mathbf{k}$ і задає координати цієї ж точки у власній системі координат об'єкту $O^x^y^z^$; $\mathbf{r}_0(t)= x_0(t)\mathbf{i}+y_0(t)\mathbf{j}+z_0(t)\mathbf{k}$ – радіус-вектор, який з'єднує початок загальної системи координат із початком власної системи координат; Π_v та Π_w- матриці, відповідно, паралельних переміщень та поворотів власної системи координат $O^x^y^z^$ в загальній $Oxyz$.

Аналогічним чином, за відомими переміщеннями базової системи $M(R^\wedge)$, значення векторів точок $M(R)$ визначається зворотнім до (2) перетворенням

$$M(R^\wedge) = [\Pi(\alpha)]^{-1} M(R^\wedge).$$

Залежність (2) аналітично записують у вигляді послідовних перетворень, а саме лінійних переміщень та поворотів відносно кожної із осей системи

Залежно від черговості вибору відповідних осей кінцева матриця поворотів має різні складові, а отже кінцевий результат при кінцевих приростах залежить від порядку розрахунку, що знижує точність позиціонування об'єкта. У результаті проведених досліджень запропоновано уніфіковані матриці кутових перетворень систем координат, відповідно Π_{1w} та, більш точніша Π_w, які дозволяють отримувати параметри кінцевих поворотів $\Delta\varphi_x^\wedge = \alpha$, $\Delta\varphi_y^\wedge = \beta$, $\Delta\varphi_z^\wedge = \gamma$ незалежно від порядку вибору осей повороту.

$$\Pi_{1w} = \begin{vmatrix} 1 & -\gamma & \beta & 0 \\ \gamma & 1 & \alpha & 0 \\ -\beta & \alpha & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \quad \Pi_w = \begin{vmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\sin\gamma & \sin\beta & 0 \\ \sin\gamma & \cos\alpha\cos\gamma & -\sin\alpha & 0 \\ -\sin\beta & \sin\alpha & \cos\alpha\cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \qquad (3)$$

Об'єкт до захоплення схватом може переміщатись під дією таких сил: зовнішні потенціальні (сили земного тяжіння G_i); зовнішні від взаємодії з іншим j-им об'єктом які моделюються силами P_{ij} та F_{ij}; сили інерції - $m_i a_i$, направлені протилежно вектору прискорення, а також відповідні моменти від вказаних сил M_P та M_F , і моменти інерцій. У векторній формі рівняння руху чи рівняння Лагранжа 1 роду мають вигляд:

$$\sum_{i=1}^{k} P_{ij}\left[grad(f_i) - \frac{\mu\Delta\bar{v}_{eij}}{|\Delta\bar{v}_{eij}|}\right] - m_i\bar{a}_i + \bar{G}_i = 0; \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{m} P_{ij}^{\wedge}\left\{(\bar{r}_{ij}^{\wedge} + \bar{\delta}_{ij}^{\wedge})\times\left[grad(f_i\wedge) - \frac{\mu\Delta\bar{v}_{eij}^{\wedge}}{|\Delta\bar{v}_{eij}^{\wedge}|}\right]\right\} - \bar{L}_{0i}^{(e)} = 0, \qquad (5)$$

де $\bar{P}_{ij}$ та $\bar{P}_{ij}^{\wedge}$ - вектори нормальних сил взаємодії з іншими об'єктами, задані, відповідно, в загальній та власній системах координат; $\bar{F}_{ij}$ та $\bar{F}_{ij}^{\wedge}$ - відповідні вектори тангенціальних сил; $\bar{r}_{ij}$ та $\bar{r}_{ij}^{\wedge}$ - відповідні радіуси-вектори ij-ої зони прикладення зовнішніх сил; m_i, $\bar{a}_i$ та $\bar{G}_i$ - відповідно маса, прискорення та сила тяжіння i- го об'єкту; $\bar{\delta}_{ij}^{\wedge} = \bar{F}_{ij}\nu_i/(4a_{ij}G_i)$ - тангенціальне зміщення площадки контакту від сили $\bar{F}_{ij}^{\wedge}$; $\bar{L}_{oi}^{(e)}$ - векторна сума моментів сил.

Тут рівняння системи (4) записано в інерційній системі координат, а (5) - у власній системі координат об'єкту [2]. У рухомій системі координат [$\bar{L}_{0i}^{(e)} = d\bar{K}_{0i}^{\wedge}/dt + \left(\left[\bar{\omega}_0^{\wedge}\times\bar{K}_{0i}^{\wedge}\right]\right)$, де $\bar{K}_{0i}^{\wedge}$ - кінетичний момент об'єкту.

Прийнявши величину інтервалу для проведення процедури числового диференціювання Δt, при відомій швидкості $v_{ci}(t)$ в момент часу t, складові вектора швидкостей в наступний момент часу $t = t + \Delta t$ визначали методом Ейлера як:

$$\dot{x}_{cit}(t+\Delta t) = \dot{x}_{cit}(t) + a_x\Delta t;\ \dot{y}_{cit}(t+\Delta t) = \dot{y}_{cit}(t) + a_y\Delta t; \quad \dot{z}_{cit}(t+\Delta t) = \dot{z}_{cit}(t) + a_z\Delta t,$$

де $\bar{a}_i = [\bar{v}_{ci}(t+\Delta t) - \bar{v}_{ci}t]/\Delta t$.

Відповідним чином визначаються і значення кутових швидкостей $\bar{\omega}(t+\Delta t) = \bar{\omega}(t) + \Delta\bar{\omega}(t)$, де проекції приростів $\Delta\bar{\omega}(t)$ визначаються із динамічного рівняння Ейлера (5).

Залежності (4), (5) дозволяють встановити кінематику та динаміку переміщення об'єкту, а за допомогою перетворень (3) визначаються параметри переміщень маніпулятора чи системи завантаження для його узгодженого руху і фіксування та подальшого переміщення.

Література.

1. Denavit J., Hartenberg R. (1955). A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. J. Appl. Mech. Vol. 77. 215–221.

2. Рогатинська О. Р.Обґрунтування навантаження і конструкцій гвинтових конвеєрів : Дис... канд. техн. наук: 05.05.05 / Рогатинська О. Р.;ТДТУ. - Т., 2006. - 189с.

УДК 621.865

Володимир Савків, к.т.н., доц., Роман Михайлишин, к.т.н., Франтішек Духон к.т.н., проф., Міхал Келемен, к.т.н., проф.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
Словацький технічний університет в Братиславі, Словаччина
Технічний університет в Кошице, Словаччина

АНАЛІЗ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННОГО ЗАХОПЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Обґрунтовано актуальність застосування струминних захоплювачів при роботизації швейних виробництв. Проаналізовано параметри потоку повітря у радіальному проміжку між взаємодіючими поверхнями струминного захоплювального пристрою та деталі з текстильного матеріалу. Представлено методику розрахунку сили утримування струминним захоплювачем деталі з текстильного матеріалу.

Ключові слова: струминний захоплювальний пристрій, ефект Бернуллі, швейне виробництво, потік повітря.

Volodymyr Savkiv, Roman Mykhailyshyn, Frantisek Duchon, Michal Kelemen

ANALYSIS OF POWER CHARACTERISTICS OF A BERNOULLI GRIPPING DEVICE FOR MANIPULATION OF TEXTILE MATERIALS

Actuality of the use of Bernoulli grippers with robotics garment industries. The parameters of the air flow in the radial gap between the interacting surfaces of the Bernoulli gripper device and the details of the textile material have been analyzed. The method of calculating the lifting force an Bernoulli gripper of a textile material component is presented.

Keywords: Bernoulli gripping device, Bernoulli effect, garment industries, airflow.

Сучасний етап автоматизації виробничих процесів характерний охопленням багатьох галузей промисловості. Промислові роботи з успіхом використовуються для виконання як основних (технологічних), так і допоміжних (транспортно-завантажувальних) операцій. Роботизація швейного виробництва в даний час стає все більш актуальною, так як дозволяє підприємствам суттєво знизити собівартість продукції та конкурувати з дешевою продукцією із країн що розвиваються. Однією з проблем впровадження промислових роботів на підприємствах швейної промисловості є проблема маніпулювання деталями з текстильного матеріалу. Ця проблема пов'язана з безформністю (відсутністю жорсткості) та пористою структурою текстильного матеріалу, що не дозволяє використовувати типові механічні та вакуумні захоплювальні пристрої. Частково дана проблема вирішується з допомогою використання голчастих механічних або кріогенних захоплювачів. Проте вони конструктивно складні та здатні пошкоджувати текстильний матеріал. Більш перспективними для автоматизації процесів відділення від стосу деталей з текстилю або їх захоплення з невеликої відстані будуть струминні захоплювачі ежекційного типу [1-3]. При адаптації даних захоплювачів для утримування текстильного матеріалу у його конструкції передбачено спеціальну сітку 1 (рис. 1). До цієї сітки притягується деталь 2 з текстилю, за рахунок утворення на її поверхні розрідження. Типовий розподіл розрідження на поверхні деталей з щільного текстилю представлено під конструктивною схемою струминного захоплювача.

Математична модель для розрахунку сили утримування струминним захоплювачем деталі з текстилю полягає в еквівалентній заміні даного матеріалу

пластиною сталої товщини *a*, рівномірно пронизаною капілярами. Для розрахунку параметрів газового потоку в проміжку між взаємодіючими поверхнями захоплювача та деталі з текстилю прийнято наступні припущення: сумарна площа отворів у сітці 1 наближається до загальної площі сітки; режим підсмоктування повітря через пори у деталі з текстилю та радільному проміжку проміжку h_1 – ламінарний; термодинамічний процес зміни стану повітря в порах деталі з текстилю – ізотермічний; перехід витікаючого із кільцевої щілини 3 надзвукового потоку в дозвуковий відбувається на радіусі, що дорівнює радіусу конічної вставки r_1; параметри дозвукового потоку в зоні торця корпуса 4 приймаються рівними параметрам атмосферного повітря.

Сила притягування струминним захоплювачем деталі з текстилю

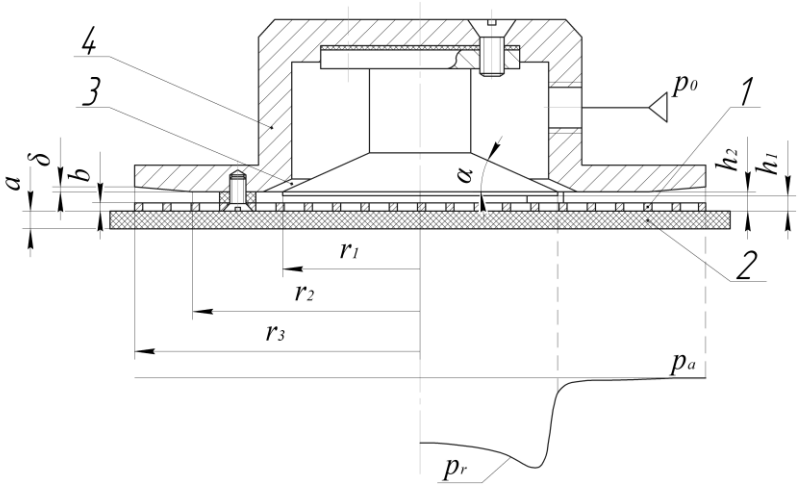


Рис. 1. Конструктивна схема струминного захоплювача для деталей з текстилю

$$F = \int_0^{r_3} \left(p_a - p_r \right) 2\pi r dr \,, \tag{1}$$

де p_a, p_r – відповідно атмосферний та абсолютний тиски повітря в радіальному проміжку на радіусі *r*.

Об'ємна витрата атмосферного повітря, що підсмоктується через елементарну кільцеву площадку *dS* деталі з текстилю

$$dQ_n = \frac{\xi}{a\mu_д} \frac{p_a^2 - p_r^2}{p_r} dS \,, \tag{2}$$

де ξ – коефіцієнт пропорційності, що характеризує проникність повітря через текстильний матеріал; $\mu_д$ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря.

Середнє значення проникності ξ текстильного матеріалу можна визначити експериментально. Для цього необхідно виміряти об'ємну витрату повітря $Q_{експ}$, яке проходить через текстильний матеріал при створенні на його поверхні площею $S_{експ}$ абсолютного тиску $p_{експ}$=120...150 кПа. Відповідно до формули (2)

$$\xi = \frac{Q_{експ} a \mu_д}{S_{експ}} \frac{p_{експ}}{p_{експ}^2 - p_a^2} \,. \tag{3}$$

Масова витрата повітря у радіальному проміжку на радіусі *r*

$$G_r = -\frac{h_2^3}{12\mu_д R T_a} p_r \frac{dp_r}{dr} 2\pi r = -\frac{\pi h_2^3}{12\mu_д R T_a} r \frac{dp_r^2}{dr} \,, \tag{4}$$

де *R*=287,14 Дж/(кг·К) – газова стала для повітря; T_a – абсолютна температура атмосферного повітря.

Витрата G_r збільшується разом із радіусом *r* унаслідок припливу повітря через

пори в деталі із текстилю. Приріст масової витрати dG_r на елементарному кільці шириною dr є диференціалом (4) по r:

$$dG_r = -\frac{\pi h_1^3}{12\mu_д RT_a}\left[r\frac{d^2 p_r^2}{dr^2} + \frac{dp_r^2}{dr}\right]dr\,, \tag{5}$$

і повинен дорівнювати масовій витраті повітря dG_n, що поступає в проміжок через кільцевий елемент поверхні деталі із текстилю площею $2\pi r dr$.

Враховуючи залежність (2), отримаємо:

$$dG_n = \frac{2\pi\xi}{a\mu_д RT_a}\left(p_a^2 - p_r^2\right)rdr\,. \tag{6}$$

Прирівнюючи праві частини формул (5) і (6) та виконуючи необхідні перетворення, одержимо диференціальне рівняння розподілу тиску в радіальному проміжку в зоні торця конічної вставки в безрозмірних параметрах:

$$\left(\sigma^2\right)'' + \frac{1}{R_1}\left(\sigma^2\right)' - \eta^2\left(\sigma^2\right) = -\eta^2\sigma_a^2, \tag{7}$$

де $\sigma = p_r/p_1$ – відносний тиск повітря в радіальному проміжку h_1 на радіусі r; $\sigma_a = p_a/p_1$ – відносний тиск повітря на вході в пори деталі з текстилю; p_1 – абсолютний тиск повітря на його виході із кільцевої конічної щілини, який внаслідок явища ежекції менший за атмосферний; $R_1 = r/r_1$ – відносний радіус; $\eta = \sqrt{24r_1^2\xi/ah_1^3}$ – характеристика пористості текстильного матеріалу.

Рівняння (7) є неоднорідним диференціальним рівнянням Бесселя нульового порядку. Його розв'язок має вигляд:

$$\sigma^2 = \sigma^{2*} + C_3 I_0(z) + C_4 K_0(z)\,, \tag{8}$$

де σ^{2*} – частковий розв'язок рівняння (7); C_3, C_4 – сталі інтегрування; $I_0(z)$, $K_0(z)$ – фундаментальні розв'язки цього рівняння без правої частини, які є бесселевими функціями уявного аргументу; $z = R_1\eta$.

Враховуючи частковий розв'язок $\sigma^{2*} = I_0(z) + \sigma_a^2$, функція розподілу тиску в радіальному проміжку приведеться до вигляду

$$\sigma^2 = \sigma_a^2 + C_3 I_0(z) + C_4 K_0(z)\,. \tag{9}$$

Масову витрату повітря, що підсмоктується через деталь з текстилю, можна визначити, підставивши у вираз (4) значення $d\sigma/dr$, знайдене диференціюванням рівняння (9) з врахуванням співвідношень

$$I_0'(z) = I_1(z)\ ; \qquad K_0'(z) = -K_1(z).$$

Тоді

$$G = \frac{\pi h_1^3 p_1^2}{12\mu_д RT_a}\left[-C_3 I_1(\eta) + C_4 K_1(\eta)\right]\eta\,. \tag{10}$$

Відповідно до граничних умов $\left.\frac{d\sigma^2}{dz}\right|_{r=0} = 0,\ \ \sigma\big|_{r=r_1} = 1$, знайдемо сталі

$$C_4 = 0,\ \ C_3 = -\left(\left(\sigma_a^2 - 1\right)/I_0(\eta)\right).$$

Підстановка цих величин у рівняння (9) і (10) дає розрахункові формули:
для змінного тиску в радіальномі проміжку h_1

$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 - \frac{I_0(z)}{I_0(\eta)}\left(\sigma_a^2 - 1\right)}\,; \tag{11}$$

для масової витрати повітря, що підсмоктується через деталь з текстилю

$$G = \frac{\pi h_1^3}{12\mu_д RT_a} \cdot \frac{I_1(\eta)\cdot\eta}{I_0(\eta)}\left(p_a^2 - p_1^2\right). \quad (12)$$

Для визначення абсолютного тиску p_1 на виході із кільцевої конічної щілини, складемо рівняння імпульсів сил у перерізах радіусами r_1 і r_3 для виділеного елемента $d\varphi$ кільцевої щілини 3 та радіального проміжку h_2:

$$dG_0V_0 + dGV_1 + p_1h_2r_1d\varphi + 2p_ah_2\left(r_3 - r_1\right)\sin\frac{d\varphi}{2} = \left(dG_0 + dG\right)V_2 + p_ah_2r_3d\varphi + dF_{тр}, \quad (13)$$

де $dG_0 = G_0\left(d\varphi/2\pi\right)$, $dG = G\left(d\varphi/2\pi\right)$ – елементарні масові витрати повітря через сектор $d\varphi$ кільцевої щілини 3 та повітря, що підсмоктується з атмосфери в секторі $d\varphi$ радіального проміжку; $V_1 = GRT_a/2\pi r_1h_1p_1$ – швидкість потоку повітря в радіальному проміжку h_1 на радіусі r_1; $V_2 = \left(G_0 + G\right)/2\pi r_3h_2\rho_a$ – швидкість потоку повітря в радіальному проміжку h_2 на радіусі r_3; ρ_a – густина атмосферного повітря; $dF_{тр}$ – елементарна сила в'язкого тертя потоку повітря до торців корпуса й об'єкта.

Швидкість і масову витрату повітря на виході з кільцевої щілини обчислюють за формулами Сен-Венана-Ванцеля [4]. Користуючись методикою наведеною в [1], одержимо рівняння, з якого визначають абсолютний тиск p_1

$$G_0V_0 + \frac{G^2RT_a}{2\pi p_1r_1h_2} - \frac{\left(G_0+G\right)^2}{2\pi\rho_a h_2r_3}\left[1 + \frac{\lambda_{ср}}{4h_2}r_3\ln\frac{r_3}{r_1}\right] - 2\pi h_2r_1\left(p_a - p_1\right) = 0,$$

де $\lambda_{ср}$ – коефіцієнт в'язкого тертя потоку повітря в радіальному проміжку h_2.

В результаті, враховуючи (1), силу притягування захоплювачем деталі з текстилю можна визначити за формулою

$$F = \pi r_1^2 p_1\int_0^1\left(\sigma_a - \sigma\right)2R_1dR_1 = \pi r_1^2 p_1K_н; \quad K_н = 2\int_0^1\left(\sigma_a - \sigma\right)R_1dR_1$$

де $K_н$ – коефіцієнт піднімальної сили, що розраховується наближеним інтегруванням.

При $\eta \to \infty$, $I_0(\eta) \to \infty$ і $p_r \to p_a$ у всіх точках радіального проміжку, тобто сила утримування деталі з текстилю $F \to 0$. При $\eta \to 0$, $I_0(\eta) \to 1$ і $p_r \to p_1$, у результаті піднімальна сила $F \to \pi r_1^2\left(p_a - p_1\right)$. З іншого боку, зменшення параметра η приводить до зростання масової витрати підсмоктуваного повітря і, як наслідок, до зростання абсолютного тиску p_1. Звідси випливає висновок, що максимальна піднімальна сила відповідає визначеному оптимальному значенню параметра $\eta_{опт}$, а при відомій проникності ξ деталі з текстилю та розмірах b=0,2 мм, h_0=0,1 мм – оптимальним значенням проміжків h_1=0,3...0,4 мм, h_2=0,5...0,6 мм.

Література

1. Савків В.Б. Удосконалення конструкції струменевих ежекційних захоплювачів автоматичних пристроїв завантаження / В.Б Савків, О.М. Фендьо, Г.В. Савків. // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2010. – Том 15. – № 3. – С. 64–74.

2. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – № 14(6), DOI: 1729881417741740.

3. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // Vacuum. – 2019. – № 159, P. 524 – 533.

4. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. – М.: Энергия, 1974. – 592 с.

УДК 621.865

Володимир Савків, к.т.н., доц., Роман Михайлишин, к.т.н., Вадим Пісьціо
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННИХ ЗАХОПЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЯХ

Наведено опис пристрою, що призначений для вимірювання розподілу тиску у струминних захоплюючих пристроях. Описано основні структурні блоки, та їх взаємодія між собою.

Ключові слова: струминний захоплюючий пристрій, Raspberry Pi 3, система автоматизації вимірювання, вимірювання розподілу тиску.

Volodymyr Savkiv, Roman Mykhailyshyn, Vadim Piscio

AUTOMATED SYSTEM FOR EXPERIMENTAL STUDY OF OPERATIONAL PARAMETERS OF BERNOULLI GRIPPERS DEVICES

The description of a device intended to measure the pressure distribution in in the bernoulli grippers devices is given. The main structural blocks are described, and their interaction with each other.

Keywords: Bernoulli grippers device, Raspberry Pi 3, measurement automation system, measurement of the pressure distribution.

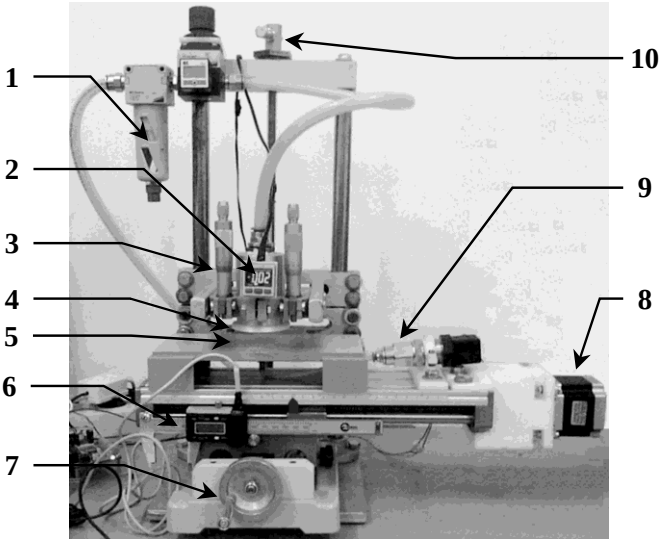


Рис. 1. Система вимірювання розподілу тиску у зазорі струминного захоплюючого пристрою

Загальний вигляд установки вимірювання розподілу тиску показаний на рис. 1. На рисунку використані позначення: 1 – пристрій підготовки повітря, 2 – давач вхідного тиску, 3 – мікрометричні пристрій завдання зазору між поверхнями захоплювача 4 та захоплюваної деталі 5, 6 – давач переміщення (електронний штангенциркуль), 7 – привід переміщення по координаті *y*, 8 – кроковий двигун для переміщення по координаті *x*, 9 – давач тиску із відповідним підключенням, 10 – пристрій переміщення по осі *z*. На вхід давача тиску подається тиск від капілярного отвору у деталі, що захоплюється 6. Вимірювання проводилось згідно із методикою описаною у [1]. Основна задача вимірювання – експериментально перевірити адекватність теоретичних положень висунутих і обґрунтованих у [2] та [3]. Обґрунтування методики вимірювання наведено у [3].

Управління системою та процесом вимірювання здійснюється за допомогою одноплатного мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3 [4], котрий побудований на основі мікросхеми Broadcom BCM2837, що являє собою однокристальну мікро-ЕОМ із 4–ядерним процесором ARM Cortex-A53. Плата також містить модуль WiFi з підтримкою 802.11ac, Bluetooth 4.2, швидший модуль Ethernet та декілька USB портів для

підключення клавіатури, зовнішніх накопичувачів, тощо. Внутрішній контролер дозволяє виводити інформацію на дисплеї, що котрі підключаються до HDMI роз'єму. Плата Raspberry Pi 3 працює під операційною системою Raspbian – клоні Debian (Linux). Збереження програм користувача та файлів операційної системи здійснюється на Micro-SD диску.

Система має 28 ліній вводу-виводу, котрі можуть бути використані як виводи загального призначення для під'єднання периферійний пристроїв. Контакти ліній разом із контактами інтерфейсів та живлення виведені на 40 контактний роз'єм GPIO.

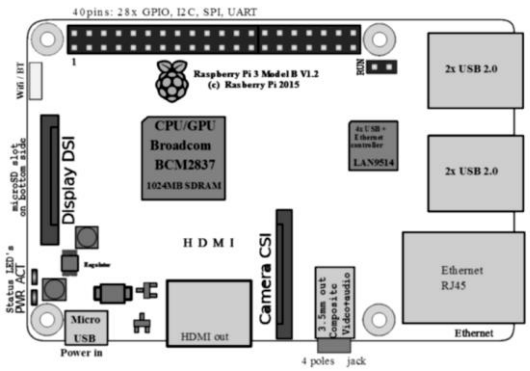


Рис. 2. Розташування роз'ємів і основних мікросхем на Raspberry Pi 3

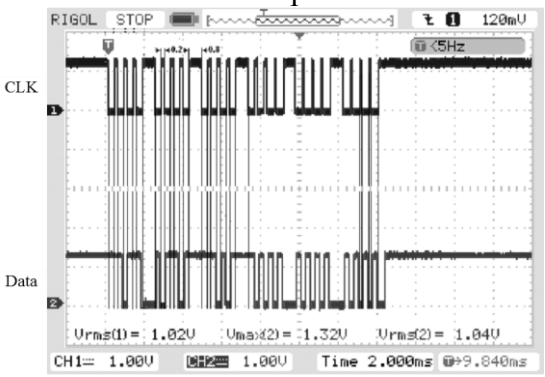


Рис. 3 Осцилограма передачі даних з електронного штангенциркуля

У якості давача переміщення застосований електроний штангенциркуль (рис. 1). Для підключення до інших компонентів схеми використовується його сервісний інтерфейс на котрий виведені сигнали CLK та DATA з рівнями сигналів 0 та 1,5 В. Типова діаграма передачі даних на інтерфейсі показана на рис. 3. Осцилограма отримана за допомогою осцилографа RIGOL DS-1025C і відповідає значенню відстані 24,69 мм у режимі вимірювання "мм".

Як видно з осцилограми передача даних синхронізується сигналом CLK. Тривалість високого рівня сигналу змінна і становить від 0,2 до 0,8 мс. Також з осцилограми видно, що пауза між передачами складає більше 4-8 мс. Отже найпростішим критерієм паузи між передачами буде тривалість високого рівня на лінії CLK на протязі 4 мс і більше. Аналіз осцилограми показує, що дані стабільні при кожному спадаючому і наростаючому фронті сигналу синхронізації і можуть змінюватись при низькому рівні сигналу CLK (крім передачі останнього біта, де дані змінюються і при високому рівні сигналу CLK). З осцилограм видно, що передача даних здійснюється за 24 такти сигналу CLK. Отже передається 24 біти даних і синхронізація даних здійснюється за переднім фронтом сигналу CLK. При прийомі даних з штангенциркуля для підсилення сигналів використовується адаптер електрична принципова схема котрого подана на рис. 4.

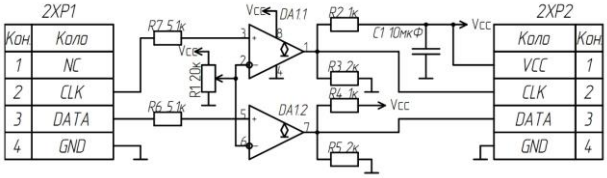


Рис. 4. Адаптер інтерфейсу штангенциркуля

Основна функція адаптера – підсилення сигналу із формуванням відповідних рівнів сигналу. Основою адаптера служить мікросхема здвоєного компаратора LM393N. Визначення порогу переключення здійснюється резистором R1, у процесі налагодження схеми рівень напруги на виводах 2 та 3 встановлюють на рівні 0,7 В. Так як вихід схеми підключається до входів Raspberry Pi, що витримують рівні напруги 0 -

3,3 В на виході компараторів встановлено подільник напруги.

Інтерфейс штангенциркуля досить повільний і не може працювати із швидкостями інших пристроїв на шині SPI, тому необхідна програмна реалізація прийому даних від штангенциркуля. При програмній реалізації прийому даних слід визначити моменти початку та кінця передачі даних, однак інтерфейс штангенциркуля не має жодного сигналу чи протоколу, котрий би проводив ініціалізацію передачі даних чи вказував би на початок передачі бітів. Тому визначення початку передачі здійснюється за допомогою розпізнавання пауз значної довжини між передачами.

Для спрощення доступу до ліній інтерфейсу штангенциркуля використовується бібліотека WiringPi [5]. Для спрощення програмної реалізації для зчитування даних використовуються переривання за фронтом сигналу на лінії CLK.

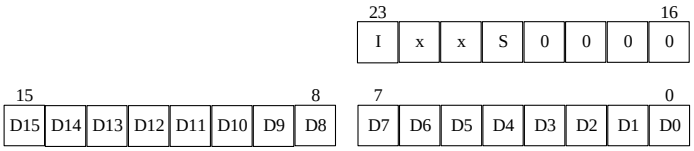


Рис. 5. Формат даних, що передається штангенциркулем

Формат коду, що використовується для передачі переміщення може бути зображений на наступній схемі (рис. 5). I – ознака передачі дюймів (0 – передача даних у мм), S – знак переміщення (0 – додатні значення), D15 - D0 – абсолютне значення переміщення.

Для вимірювання тиску використовуються давачі типу ОВЕН ПД100И-ДИВ0,9 121-0,25, що видають струмовий сигнал у межах 4-20 мА. Для перетворення струмового сигналу у напругу використовується резистор відповідного номіналу. Номінал підібраний таким чином, щоб при максимальному струму давача вихідна напруга становила 5В - максимальне значення напруги. Для контролю вхідного тиску використовується давач типу ISE30-01-65, що видає напругу у діапазоні 0-12 В. Для контролю вхідного тиску на вихід давача підключений подільник напруги, що знижує діапазон зміни вихідної напруги до рівнів 0-5 В.

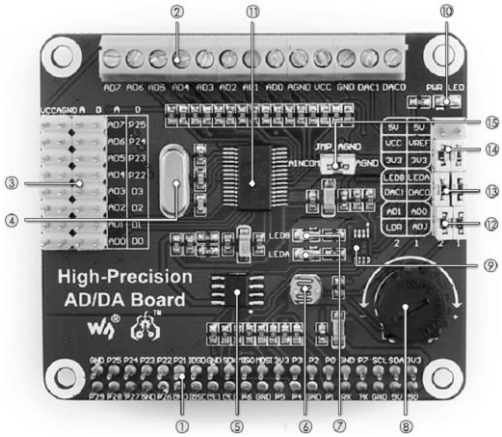


Рис. 6. Загальний вигляд плати АЦП

Дані про тиск передаються на плату АЦП Waveshare High-Precision AD|DA Board (рис. 6) [6], котра під'єднана до Raspberry Pi із використанням GPIO інтерфейсу. Передача даних здійснюється за допомогою SPI-сумісного інтерфейсу. Основа плати – мікросхема ADS1256 (Texas Instruments), що є 24 розрядним дельта-сігма АЦП із програмованим внутрішнім цифровим фільтром. Її програмований мультиплексор (Mux) забезпечує вимірювання однополярних або диференціальних сигналів, що поступають на входи одного із 8 каналів мікросхеми ANI0 - ANI7. Для процесу вимірювань обрано швидкість 1000 вимірювань у секунду.

Управління положенням рухомого стола здійснювалось за допомогою крокових двигунів, котрі підключені через плату на основі мікросхем L298. Управління двигуном здійснювалось у напівкрокововому режимі.

Управляюча програма була написана на C++ із використанням бібліотеки wxWidgets у середовищі програмування CodeBlocks. Для створення графічного інтерфейсу програми використаний плагін wxSmith. Головне вікно програми показано на рис. 7. Воно має такі основні поля:

1) вісь тиску;

2) поле графіку даних, що підтримує ручне і автоматичне масштабування;

3) біжуча координата штангенциркуля;
4) перемикач режимів зчитування даних: автоматичний та ручний;

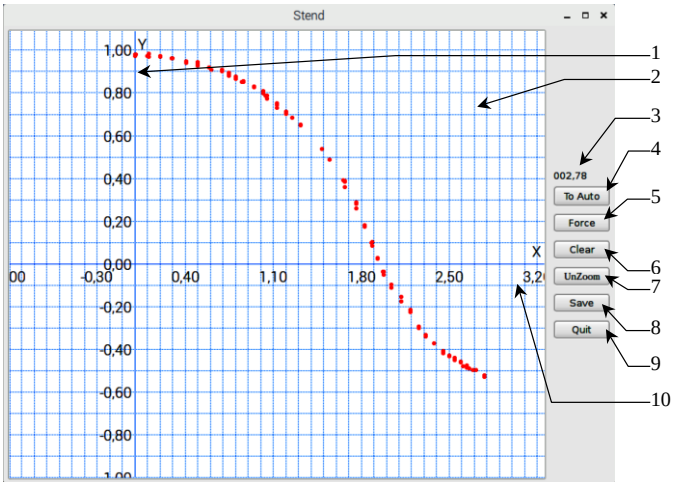


Рис. 7. Головне вікно програми (режим вимірювання тиску за одним каналом)

5) кнопка ручного зчитування даних;
6) кнопка очистки від попередньо введених даних;
7) відновлення вигляду робочого поля;
8) збереження даних у файл;
9) вихід із програми;
10) координата штангенциркуля.

Для створення програмного забезпечення було використано інтегральне середовище Code-Block [7] у котрому використовувалась система бібліотека графічних елементів інтерфейсу wxWidgets. Основною перевагою CodeBlocks над багатьма іншими пакетами є можливість швидкої розробки програм (RAD - rapid application development). За ідеологією wxWidgets кожна кнопка, таймер чи інший графічний чи системний елемент програми може бути джерелом подій котрі мають оброблюватись відповідними обробниками. Трансляцію повідомлень операційної системи, взаємодію з нею, зображення графічних елементів wxWidgets бере на себе. Програмісту залишається написати логіку взаємодії елементів системи і описати специфічні процедури роботи, наприклад, із використаним апаратним забезпеченням. Розроблена система дозволила прискорити процес вимірювання розподілу тисків приблизно у 30 разів та позбавити дослідників від одноманітної роботи. Система використовувалась у процесі експериментальних досліджень при виконанні теми ДФ241-18 "Оптимізація конструктивних параметрів струминних захоплювальних пристроїв".

Література

1. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // Vacuum. – 2019. – № 159, P. 524 – 533.

2. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2017. – № 14(6), DOI: 1729881417741740.

3. Experimental Research of the Manipulatiom Process by the Objects Using Bernoulli Gripping Devices / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // In Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, International IEEE Conference. – 2017. – P. 8 – 11. – DOI: 10.1109/YSF.2017.8126583.

4. Raspberry Pi 3 Model B [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.waveshare.com/wiki/RPi3_B

5. Wiring Pi: GPIO Interface library for the Raspberry Pi [Електронний ресурс] Режим доступу: http://wiringpi.com/

6. Raspberry Pi High-Precision AD/DA Expansion Board [Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.waveshare.com/High-Precision-AD-DA-Board.htm

7. Code::Blocks wiki: Comparison of wxSmith features: Features supported [Електронний ресурс] Режим доступу: http://wiki.codeblocks.org/ index.php/Comparison _of_wxSmith_features

УДК 004.9

Олег Сінькевич[1], Любомир Монастирський[1], д. ф.-м. н., проф., Богдан Соколовський[1], к. ф.-м. н., доц., Зіновій Матчишин[2]
[1]Львівський Національний Університет ім. І. Франка, Україна,
[2]Altran/Lohika, Україна

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

З настанням та швидким розвитком четвертої індустріальної революції та інтелектуалізацією функціонування різних об'єктів, зокрема, розумних будинків, виникає потреба у розробці та дослідженні різноманітних алгоритмів оптимізації енерговитрат. В даній роботі для виявлення та оцінки закономірностей енергоспоживання здійснено аналіз часових рядів споживання газу для розумних будинків. З використанням алгоритмів машинного навчання проведена кластеризація річних даних газу та виявлені добові патерни відносно різних сезонів протягом року. На основі отриманих патернів проаналізовано поведінкові залежності споживання енергії, яка використовується для обігріву та запропоновано підхід до дисагрегації даних споживання газу.

Ключові слова: Кластеризація, розумний будинок, часові ряди, машинне навчання.

Oleh Sinkevych, Liubomyr Monastyrskyi, Bohdan Sokolovskyi, Zenyk Matchyshyn

CLUSTER ANALYSIS OF SMART HOME ENERGY TIME SERIES

With the rapid development of Industry 4.0 and the intellectualization of functioning the various objects, in particular, smart homes, there is a need for the research and development of various algorithms for energy optimization. In this paper, for detecting and evaluating the patterns in energy data, the time series of smart home gas consumption have been analyzed. Using machine learning algorithms, clustering of annual data has been performed and daily patterns have been detected for different seasons during the year. On the basis of the obtained patterns, behavioral dependencies of energy consumption used for heating have been studied an approach to gas time series disaggregation has been proposed.

Keywords: Clustering, smart home, time series, machine learning.

1. Introduction. The rise of the different intelligent automation systems is inextricably linked to the emergence of the modern mathematical methods like statistical and machine learning algorithms [1]. The Internet of things (IoT) technology, which is one of the main research subjects in commercial and academic fields, requires incessant improvements due to the quick growth of computational resources and appearance of high-powered single-board computers [2]. Smart home as a part of IoT continues to be an object of interest among other technologies and is also considered as the element of wider smart city solutions. While speaking about smart home, we almost always bear in mind an energy saving problem. It covers the problem of effective energy management system [3], the understanding of resource consumption as well as the forecasting and activity pattern recognition.

In this paper, we are studying the second problem mentioned in previous paragraph – the understanding of energy consumption in a domestic household. Here under energy consumption we mean the total gas usage by residents in a single-family detached home. The aims of the conducted research are to: 1) calculate different clusters for daily gas consumption based on seasonality; 2) detect clusters in gas time series and 3) propose an approach for gas

data disaggregation. The latter means splitting total gas data into components used for heating and non-heating (cooking, having a shower, etc.) purposes.

In section 2, the data processing and visualization are provided; a clustering method and its results are shown and discussed in section 3; an approach of time-windowing to detect signatures and events for the disaggregation problem is given in section 4.

2. Data preprocessing and exploration. In order to investigate our algorithms, we use the gas consumption data and temperature distributions (time series) from the open-access dataset, which was collected via smart meters under UK Refit Smart Home project [3].

Let's define the incoming set of gas time series as $\mathbf{G}_e = \left[x_e^{(1)}, x_e^{(2)}, \ldots, x_e^{(n)} \right]$ and outdoor temperature as $\mathbf{I}_t = \left[x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \ldots, x_i^{(n)} \right]$, where $x_e^{(1)}$ is the instant power value [W] converted from cubic meters [3] and $x_i^{(1)}$ is the corresponding value of outdoor temperature [^{o}C]. To decide which type of data normalization should be applied, we have tested the gas time series for normality by the Shapiro-Wilk method [4]. It did not confirm null-hypothesis; therefore the minimum-maximum normalization algorithm has been applied: $x_e^{(j)} := \left(x_e^{(j)} - \min(\mathbf{G}_e) \right) \Big/ \left(\max(\mathbf{G}_e) - \min(\mathbf{G}_e) \right)$.

Next step is splitting the data into four seasonal time series, i.e., $\mathbf{G}_e^{I}$, $\mathbf{G}_e^{II}$, $\mathbf{G}_e^{III}$ and $\mathbf{G}_e^{IV}$, where I, II, III, IV are the index notations corresponding to winter, spring, summer and autumn periods. After that, each of the seasonal time series has been represented by daily sets resampled upon 30 minutes values per day (totally, 48 points). The idea of such a splitting is to identify the daily heating patterns observed during hot, cold and transitional seasons. Figure 1 demonstrates the typical maximum and average daily gas consumption by single family household in the moderate climate zone before normalization.

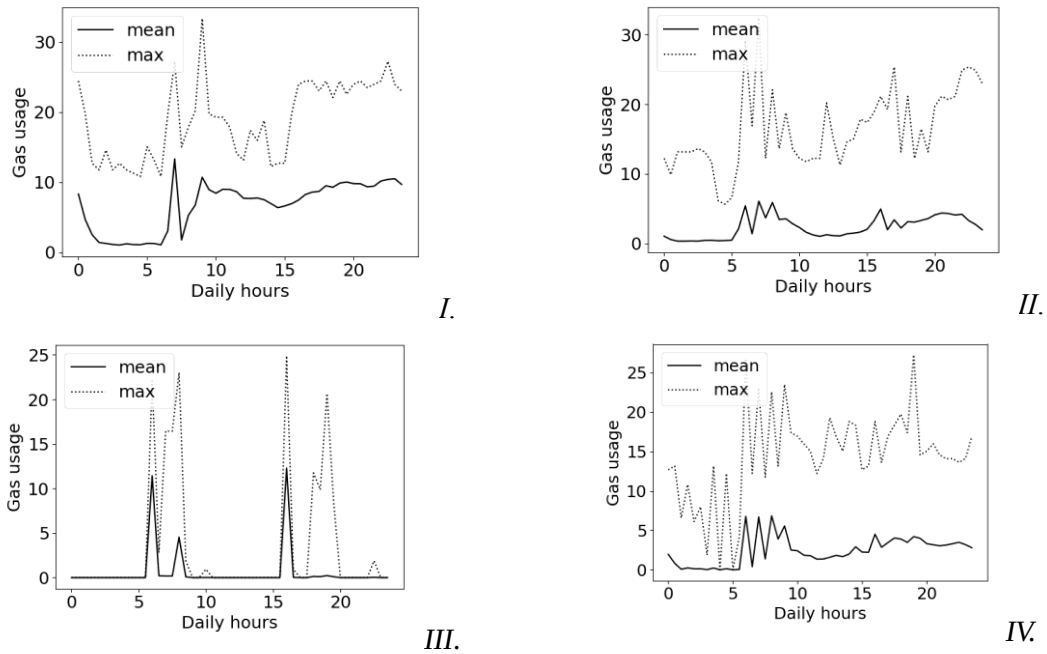


Fig. 1. Mean and maximum daily gas usage (in arbitrary units) in each season (winter, spring, summer, autumn)

As it is seen from Figure 1, the winter gas data (*I*) has pronounced peak in the morning hours, linear pattern during the day and slump during the night. It can be explained by the presence of the domestic morning activities by residents. We define this peak period as time

interval $\left|\left[\mathbf{G}_e^{I}\right]_{ma}\right| \approx 1.5-2$ of length 1.5-2 hours. The spring and autumn time series (*II*, *IV*) share similar morning patterns with upturn peaks (afternoon activities) – $\left|\left[\mathbf{G}_e^{\{II,IV\}}\right]_{aa}\right| \approx 1.5-2$ in the second part of the day after 3 p.m. The summer data (*III*) consist of zero consumption except morning and afternoon activities found in *I, II* and *IV* time series: $\left|\left[\mathbf{G}_e^{III}\right]_{ma}\right| \approx 1.5-2$ and $\left|\left[\mathbf{G}_e^{III}\right]_{aa}\right| \approx 1.5-2$ correspondingly.

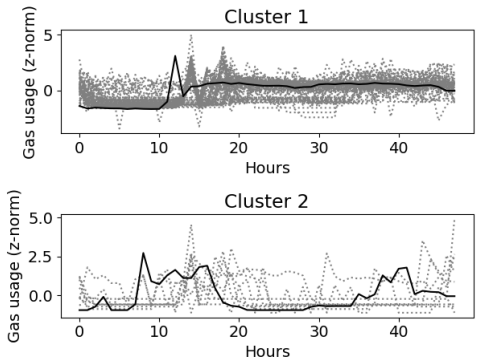
The extracted information from the visual exploration can be set as a basis for subsequent cluster analysis to find dissimilarities between the time series during each considered season.

3. Cluster analysis. The aim of clustering as a subfield of unsupervised learning is to split and group data items with respect to their similarity measured in variety of metrics. In our research, we have chosen a novel k-Shape clustering algorithm with the Euclidian metric, which shows very good results and has proven its effectiveness during testing:

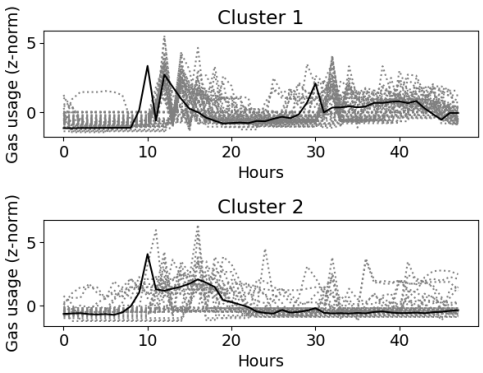
$$\boldsymbol{\mu}_k^* = \arg\max_{\boldsymbol{\mu}_k}\left(\frac{\boldsymbol{\mu}_k^{\mathrm{T}}\cdot\mathbf{M}\cdot\boldsymbol{\mu}_k}{\boldsymbol{\mu}_k^{\mathrm{T}}\cdot\boldsymbol{\mu}_k}\right), \quad (1)$$

where $\boldsymbol{\mu}_k$ is the squared similarities between the time-series sequences, $\mathbf{M}=\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}\cdot\mathbf{S}\cdot\mathbf{Q}$, $\mathbf{Q}=\mathbf{I}-\mathbf{O}/m$, $\mathbf{I}$ is the identity matrix, $\mathbf{O}$ is the matrix with all ones, m is the length of time series and $\mathbf{S}$ matrix is defined as $\mathbf{S}=\sum_{\mathbf{x}_i\in\mathbf{G}_e^{\mathbf{K}}}\left(\mathbf{x}_i\cdot\mathbf{x}_i^{\mathrm{T}}\right)$, $\mathbf{K}=\{I,II,III,IV\}$.

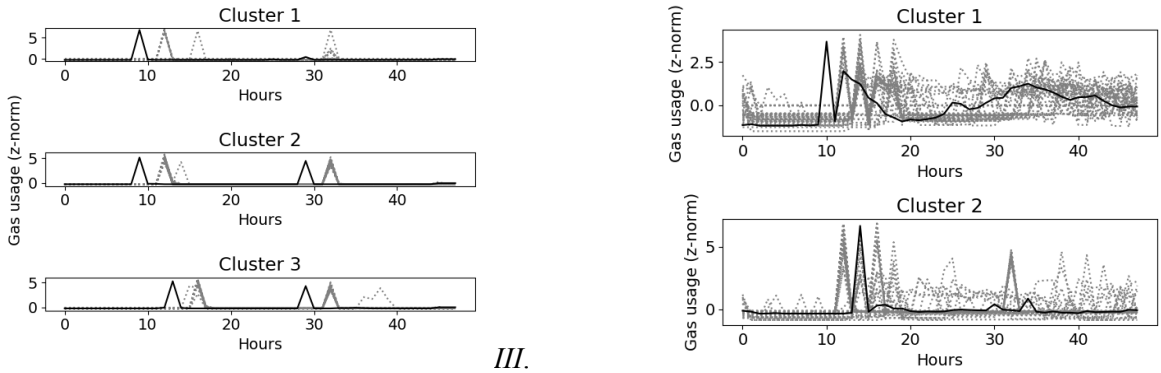
To start cluster analysis one has to provide the parameter for a predetermined number of clusters. For each time series set in $\mathbf{G}=\left\{\mathbf{G}_e^{I},\mathbf{G}_e^{II},\mathbf{G}_e^{III},\mathbf{G}_e^{IV}\right\}$, k-Shape clustering has been carried out and optimal number of clusters has been verified using silhouette score $c_{\mathbf{G}}=(d_1-d_2)/\max(d_1,d_2)$, where $d_1=d_{\mathrm{mean}}\left(\mathbf{x}_e^{(j)}-\{\hat{\mathbf{x}}_e\in cl_n\}\right)$ is the mean distance between a sample $\mathbf{x}_e^{(j)}$ and all other time series in the *next* nearest cluster $\{\hat{\mathbf{x}}_e\in cl_n\}$, $d_2=d_{\mathrm{mean}}\left(\mathbf{x}_e^{(j)}-\{\hat{\mathbf{x}}_e\in cl_i\}\right)$ is the mean distance between sample $\mathbf{x}_e^{(j)}$ and all other time series in the *same* cluster $\{\hat{\mathbf{x}}_e\in cl_i\}$. Figure 2 shows the results (z-normalized time series) of daily clusters for 30 minutes intervals during a day.



I.



II.



III. *IV.*

Fig. 2. Calculated daily clusters for each seasonal gas consumption (winter, spring, summer, autumn)

The calculated clusters for each set in $\mathbf{G} = \left\{\mathbf{G}_e^I, \mathbf{G}_e^{II}, \mathbf{G}_e^{III}, \mathbf{G}_e^{IV}\right\}$ have discovered distinct peaks during the cold and transitional (autumn and spring) seasons, which can be generalized as $\left[\mathbf{G}_e\right]_{ma}$ (morning activities) and $\left[\mathbf{G}_e\right]_{aa}$ (afternoon activities). Also, the detected peak shifts in the vicinity of 8 a.m., 10 a.m., 4 p.m. and 8 p.m. (winter period) need more precise investigation, which will be covered in a separate research. The cluster analysis motivates us to using its results for gas disaggregation problem.

4. Approach to gas disaggregation problem. The identified peaks and activity windows $\left[\mathbf{G}_e\right]_{ma}$ and $\left[\mathbf{G}_e\right]_{aa}$ in section 3 can be used to extract non-heating components from aggregated gas time series. For this purpose, we propose the windowing algorithm to detect heating events by comparison of $x_e^{(j)}$ value at time j with $x_e^{(j+n)}$, i.e., if $\left\|x_e^{(j)} - x_e^{(j+n)}\right\| \le threshold$ occurs then heating event takes place. This should be done in the range of detected activity windows $\left[\mathbf{G}_e\right]_{ma}$ and $\left[\mathbf{G}_e\right]_{aa}$. To reinforce the proposed algorithm, the linear correlation between gas time series and outdoor temperature $\mathbf{I}_t$ can be taken into account. In addition, the pattern/signature extraction within activity windows is planned to be developed in further research.

References

1. Matallanas E. Neural network controller for Active Demand-Side Management with PV energy in the residential sector / E. Matallanas, M. Castillo-Cagigal, A. Gutiérrez. // Applied Energy. – 2012. – №91 (1). – P. 90–97.

2. Vamsikrishna P. Raspberry PI controlled SMS-Update-Notification (Sun) system / Vamsikrishna, Patchava; Sonti Dinesh Kumar; Shaik Riyaz Hussain; Rama Naidu, K. Proceeding of IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT 2015), pp.1-4, 5-7 March 2015.

3. Kane T. Heating behaviour in English homes: An assessment of indirect calculation methods / T. Kane, S. Firth, T. Hassan, V. Dimitrou // Energy and Buildings. – 2017. – № 148. – P. 89–105.

4. Nornadiah R. Power comparisons of Shapiro–Wilk, Kolmogorov–Smirnov, Lilliefors and Anderson–Darling tests / Razali Nornadiah, Yap Bee Wah // Journal of Statistical Modeling and Analytics. – 2011. – №2 (1). P. 21–33.

УДК 004.4: 621.01

Олександр Ступак, Сергій Цибульник, к.т.н.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Україна

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПЛОСКОГО ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ПРОГРАМНИМИ ЗАСОБАМИ

У наш час завдання кінематичного аналізу механізмів найчастіше вирішуються графічними або аналітичними методами. З розвитком мов програмування та можливостей відповідних середовищ розробки стає можливою реалізація кінематичного аналізу плоских важільних механізмів програмними методами. Запропонована реалізація являється комбінованим графоаналітичним методом, оскільки аналітичне рішення засноване на графічних побудовах та рішенні відповідних геометричних задач. За допомогою мови програмування Processing реалізовано програмне забезпечення для кінематичного аналізу простих важільних механізмів.

Ключові слова: Кінематичний аналіз, важільний механізм, мова програмування Processing.

Serhii Tsybulnyk, Oleksandr Stupak

SOFTWARE FOR KINEMATIC ANALYSIS OF flat leverage mechanism

With the development of programming languages it is possible to implement a kinematic analysis of flat leverage mechanisms by software methods. On the basis of Processing programming language software for kinematic analysis was implemented.

Keywords: Kinematic analysis, flat leverage mechanism, Processing programming language.

Мета кінематичного аналізу плоского важільного механізму полягає у визначенні параметрів руху його ланок по заданому руху ведучих ланок без урахування діючих сил.

Основними завданнями кінематичного аналізу є:

• побудова плану положень механізму;
• побудова плану швидкостей шарнірів;
• побудова плану прискорень шарнірів.

Планом положення механізму називається [1] креслення, що зображує розташування його ланок в певний момент руху. Зазвичай на одному кресленні будується 8, 12, 24 або 36 планів положення механізму. Це означає, що планом положення являється кінематична схема механізму, накреслена відповідно до заданих положень ведучої ланки.

Знаючи закон руху ведучої ланки і довжину кожної ланки механізму, можна визначити швидкості та прискорення його точок за значенням і напрямком в будь-якому положенні механізму шляхом побудови планів швидкостей та прискорень для цього положення. Значення швидкостей окремих точок механізму необхідні при визначенні продуктивності і потужності машини, втрат на тертя, кінетичної енергії механізму; при розрахунку на міцність і вирішенні інших динамічних задач.

Кінематичному аналізу, в зв'язку з перерахованими завданнями, повинен передувати структурний аналіз механізму, при якому визначається скільки, якого класу і в якій послідовності з'єднані кінематичні пари, що утворюють ведений кінематичний ланцюг механізму. Завдання кінематичного аналізу механізмів найчастіше вирішуються графічними або аналітичними методами.

Графічні методи засновані на геометричній побудові траєкторій руху окремих ланок механізму, швидкостей і прискорень їх шарнірів. Отримувані результати дають наочну картину руху ланок механізму і його шарнірів, але необхідні побудови виконуються для кожного конкретного положення механізму. Останнє не дозволяє отримати загальне універсальне рішення.

Аналітичні методи забезпечують високу точність обчислення шуканих параметрів. У даний час дуже часто застосовують саме аналітичні методи. Проте для попередньої оцінки кінематичних параметрів механізму і контролю аналітичних обчислень використовуються найпростіші геометричні побудови – плани положень, швидкостей і прискорень.

З розвитком мов програмування та можливостей відповідних середовищ розробки стає можливою реалізація кінематичного аналізу плоских важільних механізмів програмними методами. Дана реалізація являється комбінованим графоаналітичним методом, оскільки аналітичне рішення засноване на графічних побудовах та рішенні відповідних геометричних задач.

У даній роботі розглянута можливість застосування сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій і мов програмування для побудови планів положень, швидкостей і прискорень плоского важільного механізму. Реалізація побудови названих планів проходила за допомогою мови програмування Processing (рис. 1-рис. 2).

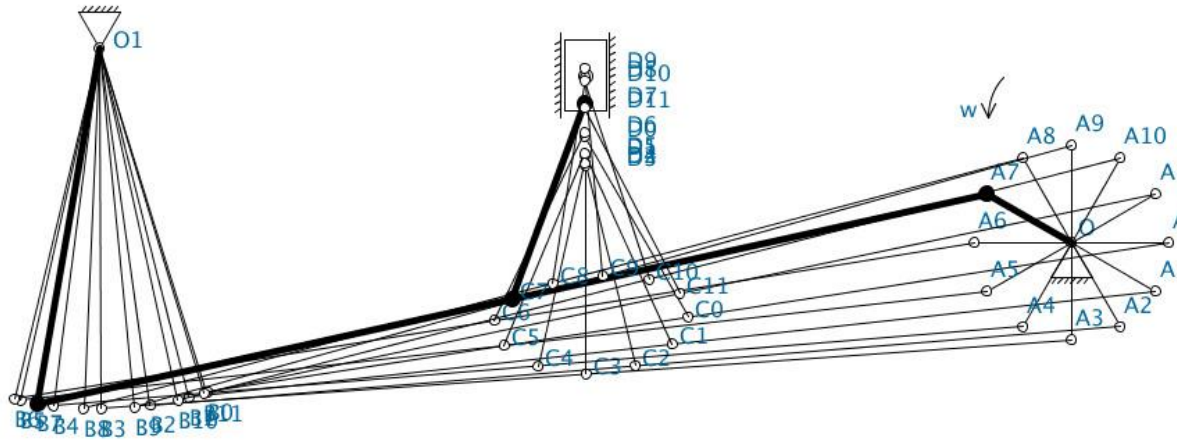


Рис. 1. План положень механізму, побудований за допомогою Processing

Мови програмування, як і людські мови, об'єднуються в групи споріднених мов. Processing – це діалект мови програмування під назвою Java [2]. Він має майже той же синтаксис, але доповнений спеціальними командами для роботи з графікою і зовнішніми пристроями. Processing містить в собі особливості багатьох мов програмування і тому може послужити хорошим введенням в програмування на інших мовах з використанням інших інструментів розробки.

Processing розроблявся досить довго: з серпня 2002 по квітень 2005 він перебував у стадії альфа-версії, а потім розповсюджувався в стадії бета-версії до листопада 2008. Протягом цього часу він постійно використовувався для навчання та створення програм тисячами людей по всьому світу [1]. Протягом цього часу мова, середовище розробки та спосіб подачі матеріалу безперервно удосконалювалися. 29 листопада 2008 вийшла версія 1.0. Це була перша стабільна версія мови.

Як і будь-яке програмне забезпечення Processing складається з великої кількості компонентів, які працюють разом.

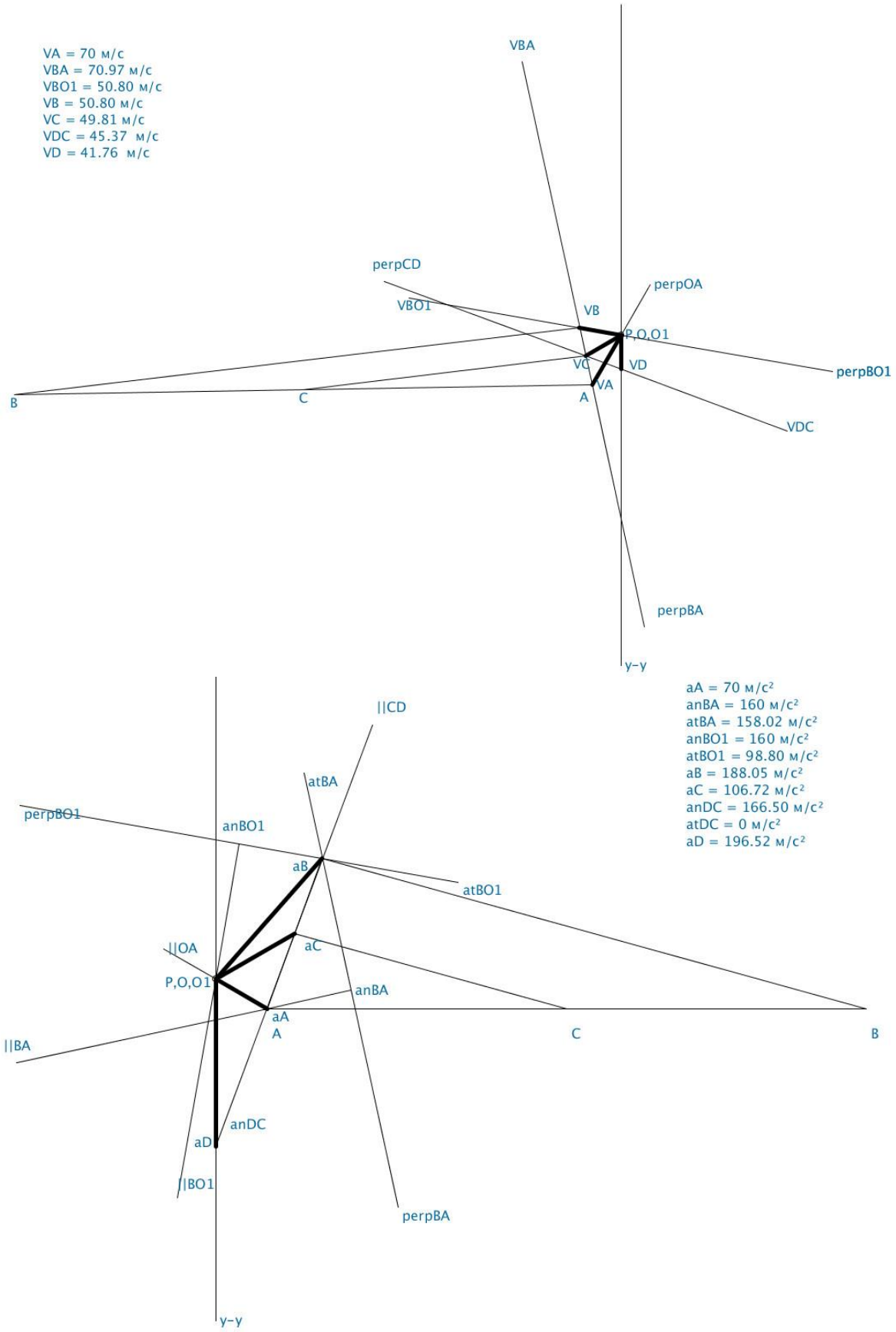


Рис. 2. Плани швидкостей та прискорень механізму, побудовані у Processing

Processing може бути використаний як для простих виробів, так і для докладного дослідження. Програма на Processing може становити від одного до декількох тисяч рядків коду, тому завжди можна поліпшити і розширити її функціонал. Існує більше 100 бібліотек розширення, що дозволяють застосовувати Processing для обробки звуку, досліджень в області машинного зору і технічних розрахунків. Графічні об'єкти Processing споріднені системі PostScript, що послужила основою для формату PDF і OpenGL (графічна бібліотека для написання додатків, що використовують 3D-графіку). Саме широкий функціонал Processing став вирішальним фактором у виборі мови програмування для вирішення задач кінематичного аналізу механізмів програмними засобами.

Програмний метод побудови планів на мові Processing представляє собою комбінацію графічних і аналітичних методів з їх основними перевагами і недоліками. Головним недоліком програмного методу є складність алгоритму побудови планів положень, швидкостей та прискорень, а перевагою – такий підхід дозволяє студентам розвинути навички програмування при вирішенні задач механіки, а також одноразова розробка алгоритму побудови дозволить вирішувати подібні задачі за лічені секунди. Ще однією з переваг даного методу є можливість анімації руху плоского важільного механізму будь-якої складності.

Для побудови планів положень, швидкостей, прискорень та анімації руху ланок використовуються елементи векторної алгебри та аналітичної геометрії, а саме: пошук координат кінця відрізка за відомими координатами початку та значенням його довжини; пошук точок перетину двох кіл або кола з прямою (оскільки плани положень механізмів, які включають в себе двохповідкові групи, будуються методом засічок); знаходження рівняння прямої; визначення координат точки перетину двох прямих; тощо.

Реалізація анімації руху плоского важільного механізму в середовищі розробки Processing реалізована шляхом використання методу *void draw()*. За замовчуванням блок коду, який розташовано в даному методі буде безперервно виконуватися шістдесят разів в секунду. Саме тому швидкість анімації було зменшено для більш плавного відображення.

Враховуючи, що переваг у такого методу значно більше ніж недоліків, у даній роботі проведено перші ітерації процесу розробки універсального програмного забезпечення для кінематичного аналізу плоских важільних механізмів. Розроблено ряд методів для визначення кута обертання кривошипа, визначення положень шарнірів та ряд класів для створення ланок і стійок у вигляді об'єктів. Створено програмний код, який дозволяє автоматично будувати плани швидкостей та прискорень для будь-якого положення механізму.

У майбутньому планується розширити функціонал програмного забезпечення для реалізації можливості створення довільного плоского важільного механізму. Також планується вдосконалити програму таким чином, щоб процеси створення окремих ланок і механізму в цілому, а також, щоб побудова відповідних планів не потребувала специфічних знань теорії машин і механізмів від кінцевого користувача. Такий підхід дозволить значно розширити коло користувачів.

Література.

1. Reas C. Getting Started with Processing / C. Reas, B. Fry. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2010. – 208p.

2. Построение планов положений механизмов [Online]. URL: https://studbooks.net/1834565/tovarovedenie/postroenie_planov_polozheniy_mehanizmov. Дата звернення: Травень, 2019р.

УДК 621.321

Анна Ткач
Державний університет телекоммунікацій, Україна

СКЛАДНОЩІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 4G ТА 5G В УКРАЇНІ

Проаналізовано етапи розвитку технологій 4G та 5G в світі та Україні. Розглянуто принцип розподілу абоненських пристроїв LTE. Показані основні проблеми впровадження технологій 4G та 5G.

Ключові слова: LTE, абоненські пристрої, мережі доступу, мобільний зв'язок.

Anna Tkach

DIFFICULTIES OF 4G AND 5G INTRODUCTION IN UKRAINE

The analysis of 4G and 5G devepolment's stages in the world and Ukraine.The principle of LTE subscriber devices was reviewed. The own problems of 4G and 5G implemention were shown.(2-3 рядки).

Keywords: LTE, subscriber devices, access network, mobile communication.

Стандарт LTE (Long-Term Evolution або 4G) в багатьох країнах світу став домінуючою технологією мобільного доступу до мережі Інтернет. За проміжок 2016-2018 років база абонентів по даному стандарту збільшилась на 895 млн. чоловік, а по прогнозам GSA (The Global mobile Suppliers Associaton) до 2020 року загальна чисельність бази збільшиться до 4 млрд.

Найбільше розповсюдження технологія LTE отримала в Японії та Південній Кореї (98% покриття по всій країні), найбільша середня швидкість була зафіксована в Сингапурі – 37 МБіт/с, причому, один із місцевих операторів зміг досягти відмітки в 40 МБіт/с. Для порівняння, в 2014 році ні одна із існуючих компаній не змогла перевищити ліміт в 20 МБіт/с. Стрімкий стрибок був спровокований інвестиціями в інфраструктуру і розвиток LTE в світі, як і в Сингапурі, Кореї, Японії та Австралії, а також – розгортанням нових мереж в різних регіонах. В цей же Швеція та США відстають у розвитку новітньої архітектури мобільного зв'язку через відсутність вільного спектру.

На сьогодні в Україні національні оператори працюють в наступних умовних частотних діапазонах:

1. 800 МГц – належить оператору Інтертелеком та частково PeopleNet;
2. 900 МГц та 1800 МГц – у власності Vodafone, Київстар, Lifecell
3. 2100 МГц – належить 3Mob.

Від частоти напряму залежить зона покриття, котру може забезпечити базова станція. Залежність в даному випадку зворотня – чим вища частота, тим менше радіус покриття бази і тим більше абонентів матимуть змогу користуватись послугами мобільного зв'язку одночасно (за рахунок більшої пропускної спроможності мережі). Саме в зв'язку з цим виділення частоти в 1800 МГц можна вважати найбільш оптимальним рішенням на даний момент.

Таким чином можна чітко прослідити стрімкий стрибок підключень до послуг бездротового зв'язку четвертого покоління. З чим пов'язана подібна тенденція? Перш за все, користувачі бажають бути мобільними і не прив'язаними до однієї географічної точки. По-друге, безперечно, це – можливість отримати високошвидкісний доступ до мережі Інтернет і виконувати обмін фото та відеофайлами в режимі реального часу. Варто також звернути увагу на стійкість технології LTE до великої кількості користувачів, що надає можливість покращити швидкість передачі даних в умовах

скупчення натовпу без втрати якості зв'язку.

Все це стало можливим завдяки збільшення функціональності та продуктивності абонентських пристроїв. За проміжок 2016-2018 років їх загальна кількість збільшилась в 10 разів, сьогодні в світі представлено 5,6 тисяч різноманітних моделей пристроїв з підтримкою технології LTE. За цей же період збільшилась і кількість компаній-виробників (до 500). Екосистема 4G в більшій кількості складається із смартфонів з підтримкою й інших технологій – в тому числі і 3G.

До основних проблем впровадження технології LTE відносяться: наявність частот для розгортання мереж, нерівномірний розподіл по території, екологічна безпека, забезпечення захисту інформації і т.д. Всі ці питання, скоріш за все, будуть вирішені при масовому розгортанні технології 5G, а сьогодні масового розвитку отримає побудова мереж LTE і вже 700 із них було запущено в експлуатацію.

Трійка операторів України вже запустила на своїх мережах технологію наступного покоління – LTE Advanced Pro, котра забезпечує пікову швидкість передачі даних на рівні 1 Гбіт/с та вище. Одночасно з цим поступово отримується реалізація для розгортання технології наступного покоління 5G і запуск заплановано на 2020 рік.

По оцінкам міжнародних експертів технологія 5G буде направлена на досягнення наступних результатів: збільшення швидкості передачі даних в більш ніж 5 разів, забезпечення доступу до мережі Інтернет з будь-якої точки світу зі стабільною швидкістю в 1 Гбіт/с, повний перехід на хмарну інфраструктуру SDR та SDH, використання масштабуємої та економічної транспортної мережі, забезпечення реалізації QoS для всіх видів послуг. Також, технологія 5G значно зменшить затримку сигналу в залежності від середовища передачі та використовуваної смуги частот, досягнувши відмітки - до однієї мілісекунди.

Для впровадження технології 5G знадобляться:

1. Розробка нових стандартів та архітектури;
2. Виділення більш високої смуги частот й отримання ліцензії на її використання;
3. Оновлення структури існуючої мережі та обладнання.

Вартість буде напряму залежити від вкладених коштів, термінів впровадження та кількості потенційних абонентів.

Згідно існуючих прогнозів, до 2035 року інфраструктура 5G-мереж буде підтримувати 22 млн. робочих місць по всьому світі, а її вклад у глобальний Валовий внутрішній продукт на період з 2020 до 2035 років буде дорівнювати 2,5 трлн доларів. Також, збільшиться попит та дохід від технологій Інтернет речей (IoT).

Сьогодні в Україні все ще відпрацьовується нормативно-технічна база по впровадженню технологій 4G та 5G з деформацією спектру і продажу на аукціоні. І вже протягом наступних п'яти років існуюча інфраструктура мережі буде модернізована та підготовлення до задіяння технологій наступного покоління. Впровадження 5G забезпечить можливість користувачам до послуг мобільного зв'язку та мережі Інтернет з будь-якого куточка світу без втрати якості з'єднання.

Література

1. Semantic Gateway as a Service Architecture for IoT Interoperability / P. Desai, A. Sheth, P. Anantharam – Архів – 2014. – 7 с..
2. Протоколи мережі доступу / Б. С. Гольдштейн – БХВ Петербург – 2014 – 288с.::іл.
3. Інформаційне агенство ИНФОРМ-UA [Електронний ресурс] Режим доступу: http://inform-ua.info/.

УДК 621.317.7

Богдан Трембач[1], асистент, Ростислав Трембач[2], к.т.н., доц.,
Ігор Добротвор[3], д.т.н., доц.
[1]Національний університет "Львівська політехніка", Україна
[2]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
[3]Тернопільський національний економічний університет, Україна

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ

Розроблений обчислювальний алгоритм визначення інтегральних різниць кодів у теоретико - числовому базисі Радемахера, у якості логіко - математичного обґрунтування функцій та структури спецпроцесора визначення модульної різницевої інтегральної оцінки Хеммінгової віддалі, який є базовим компонентом кореляційного спецпроцесора пеленгації просторового розміщення джерела акустичного сигналу.

Ключові слова: джерело звуку, моделювання, Хеммінгова віддаль, алгоритм.

Bohdan Trembach, Rostyslav Trembach, Igor Dobrotvor

ALGORITHM OF CALCULATION OF SOUND SOURCES COORDINATE

A computational algorithm for defining integral code differences in the Rademacher theoretic numerical basis was developed as a logical and mathematical justification of the functions and structure of a special processor for determining the modular difference integral estimate of the Hemingway distance, which is the basic component of the correlation special processor of the directional location of the source of the acoustic signal..

Keywords: sound source, simulation, Hemingway distance, algorithm..

При розпізнаванні образів ефективне застосування отримала оцінка Хеммінгової віддалі між характеристиками об'єктів згідно Евклідової метрики у лінійному просторі згідно виразу (1).

$$d_{ij} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} | x_i - y_i | \ , \qquad (1)$$

де x_i , y_i - цифрові коди характеристик об'єкта.

Застосування такої метрики може бути виконана у кодових системах різних теоретико-числових базисах, зокрема в унітарному, Радемахера та Крестенсона, які породжують кодові системи унітарної, двійкової та модульної залишкової системи числення.

Найбільш широко застосованим у наш час є базис Радемахера, який базується на представлені характеристики (у досліджуваному випадку) акустичних сигналів двійковими n – розрядними кодами x_i і y_i , які формуються з інтервалом дискретизації у часі Δt на виходах АЦП.

Виконання алгоритму визначення інтегрально – різницевої оцінки Хеммінгової віддалі між цифровими значеннями акустичних сигналів x_i та y_i у базисі Радемахера ілюструється наступним структурним графом, який зображено на рис. 1.

При реалізації такого алгоритму (рис.1) отриманий мінімальний результат d_{ij} (наближається до нуля) свідчить про високий рівень подібності АС та відповідний наближений до +1 рівень взаємокореляції.

Відповідно зростання оцінки d_{ij} свідчить про низьку подібність акустичних сигналів та наближений до «0» коефіцієнт взаємокореляції.

Викладений алгоритм формування інтегрально – модульної різницевої оцінки Хеммінгової віддалі між акустичними сигналами є основою для синтезу та реалізації мікроелектронної структури базового компонента багатоканального цифрового корелятора опрацювання акустичних сигналів у різних застосуваннях [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

$$\left.\begin{array}{l} x_i \Rightarrow \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} \Rightarrow \bar{x}_i \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} x_i + \bar{y}_i \to S_1 \\ 1+0+0 \\ 0+0+0 \\ \dots + \dots + \dots \\ 1+0+0 \\ 0+1+0 \\ 1+0+1 \end{matrix} \Rightarrow \\ y_i \Rightarrow \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} \Rightarrow \bar{y}_i \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} y_i + \bar{x}_i \to S_2 \\ 1+0+0 \\ 1+1+0 \\ \dots + \dots + \dots \\ 1+0+0 \\ 0+1+0 \\ 1+0+1 \end{matrix} \Rightarrow \end{array}\right\} Z_i \Rightarrow \sum_{i=1}^{n} Z_i = d_{ij}$$

Рис. 1. Структурний граф алгоритму визначення інтегрально – різницевого коду оцінки Хеммінгової віддалі лінійної метрики Евкліда

Для проведення моделювання алгоритму розрахунку координат джерела звуку використовуємо програмне забезпечення MathCAD 15.

Вхідними даними для проведення моделювання є координати точок трикутника (рис.2) розташування джерел звуку A, B, C; *c* - константа швидкості звуку.

З формули $\beta = \arcsin \frac{c \cdot \Delta t}{L_0}$, знаходимо

$$\cos\beta = \sqrt{1 - (\frac{c \cdot \Delta t}{L_0})^2} \ ,$$

де Δt -різниця часу проходження сигналу між двома координатами приймачів звукового сигналу.

Розв'язуємо систему відносно $\tilde{\tilde{k}}_1$, $\tilde{\tilde{k}}_2$ та $\tilde{\tilde{k}}_3$

$$\cos\beta_1 = \frac{\left| k_1 \cdot \tilde{\tilde{k}}_1 + 1 \right|}{\sqrt{1+k_1^2} \cdot \sqrt{1+\tilde{\tilde{k}}_1^2}}; \cos\beta_2 = \frac{\left| k_2 \cdot \tilde{\tilde{k}}_2 + 1 \right|}{\sqrt{1+k_2^2} \cdot \sqrt{1+\tilde{\tilde{k}}_2^2}}; ; \ \cos\beta_3 = \frac{\left| k_3 \cdot \tilde{\tilde{k}}_3 + 1 \right|}{\sqrt{1+k_3^2} \cdot \sqrt{1+\tilde{\tilde{k}}_3^2}};$$

де k_1, k_2, k_3 - кутові коефіцієнти сторін трикутника [AC], [AB], [BC] відповідно та знаходяться за формулами:

$$k_1 = \frac{y_a - y_c}{x_a - x_c}, \ k_2 = \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b}, \ k_3 = \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b};$$

$\tilde{\tilde{k}}_1$, $\tilde{\tilde{k}}_2$, $\tilde{\tilde{k}}_3$ - кутові коефіцієнти прямих, що проходять через середини сторін трикутника [AC], [AB], [BC] під кутами β_1, β_2, β_3 до їх перпендикулярів.

$\tilde{\tilde{k}}_1$, $\tilde{\tilde{k}}_2$, $\tilde{\tilde{k}}_3$ знаходимо з допомогою програми MathCAD 15, наближено в блоці Giver-Minerr.

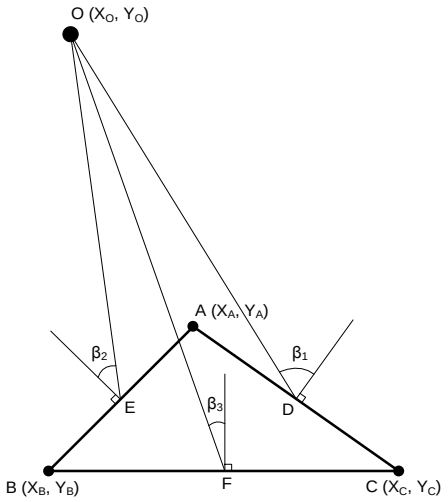


Рис. 2. Приклад реалізації алгоритму в MathCAD 15.

Координати точки джерела звуку $O(x_0, y_0)$ знаходимо розвязуючи систему

$$\tilde{\tilde{k}}_1 = \frac{y_D - y_0}{x_D - x_0};\ \tilde{\tilde{k}}_2 = \frac{y_E - y_0}{x_E - x_0};$$

$$\tilde{\tilde{k}}_3 = \frac{y_F - y_0}{x_F - x_0},$$

де $x_D = \frac{x_a + x_c}{2}$, $x_E = \frac{x_a + x_b}{2}$, $x_F = \frac{x_b + x_c}{2}$, $y_D = \frac{y_a + y_c}{2}$, $y_E = \frac{y_a + y_b}{2}$, $y_F = \frac{y_b + y_c}{2}$.

Систему рівнянь визначення $\tilde{\tilde{k}}_1$, $\tilde{\tilde{k}}_2$, $\tilde{\tilde{k}}_3$ розв'язуємо для двох змінних x_0 та y_0. Тому беремо 3 рази по 2 рівняння. Після чого усереднюємо. Сектор, що містить точку *O* дає похибку методу.

Література

1. Bohdan Trembach, Roman Kochan, Rostyslav Trembach. Multiplex Digital Correlator with High Priority Deployment of One of the Acoustic Signal Receivers, Scientific Journal of TNTU (Ternopil, Ukraine), 4 (84), pp. 99-104, 2016
2. Bohdan Trembach, Roman Kochan, Rostyslav Trembach. Methods of structural design optimization of software hardware problem identification of the spatial parameters of acoustic signals sources. Scientific Journal of KNU (Khmelnyts'kyi, Ukraine), 1 (245), pp. 136-139, 2017.
3. Bohdan Trembach. The method of correlation study of acoustic signals with priority placement of microphones./ Bohdan Trembach, Roman Kochan, Rostyslav Trembach.// 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM) , 21-25 February, 2017, Polyana-Svalyava (Zakarpattya), pp.210 –213.
4. Bohdan Trembach. The method of applying acoustic signals in vector and two-dimensional Hemming spaces given in cartesian and in polar coordinates. / Bohdan Trembach, Andrij Sydor, Rostyslav Trembach, Roman Kochan //14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) Lviv-Slavske, Ukraine February 20-24, 2018, pp.108-111, IEEE
5. Bohdan Trembach. The method of correlation study of acoustic signals with priority placement of microphones/ Bohdan Trembach, Roman Kochan, Rostyslav Trembach// Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal (ASTESJ) Volume 3, Issue 1, Page No 412-417, 2018
6. Трембач Б. Р. Метод визначення віддалі до джерела акустичних сигналів , Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія : Комп'ютерні системи та мережі, № 857, 2016

УДК 621.865.8

Петро Федорів[1], Ігор Федорів[2]
[1]Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
[2]Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

ВИКОРИСТАННЯ СТРУМЕНЕВИХ ПРИВОДІВ У ВАЖІЛЬНИХ ЗАТИСКНИХ ПРИСТРОЯХ

Проведено аналіз важільних шарнірних механізмів затискних пристроїв та особливості використання у них струменевих приводів.

Ключові слова: важіль, шарнір, затискний механізм, затискач, струменевий привод

Petro Fedoriv, Ihor Fedoriv

THE USING OF STREAM DRIVE IN LEVER CLAMPING DEVICES

The analysis of lever linkworks of clamping devices and feature of the use for them of stream occasions is conducted.

Keywords: lever, hinge, clamping mechanism, gripper, stream driver

Затискні пристрої призначені для закріплення оброблювальних заготовок у робочих позиціях верстатів та автоматичних ліній. Важільні механізми застосовуються в якості підсилювачів приводів. За конструкцією вони поділяються на одноважільні, двохважільні односторонньої дії та двохважільні двохсторонньої дії.

Схема одноважільного шарнірного механізму показана на рис.1. Важіль 1 через звичайний важіль 2 затискає деталь 3 і знаходиться в рівновазі. Вихідна сила *Q* і реакція *N* зі сторони опори ролика замінюються рівнодійною *R*, направленою вздовж важеля. Після розкладу *R* у точці *C* отримані сили *W* і Q. Із трикутника *WCR* для ідеального механізму знаходимо $W_{\infty} = Q(1/tg\alpha)$. Отже, ідеальний важільний механізм, як і клиновий, при $\alpha \to 0$ розвиває силу $W_{io} \to \infty$.

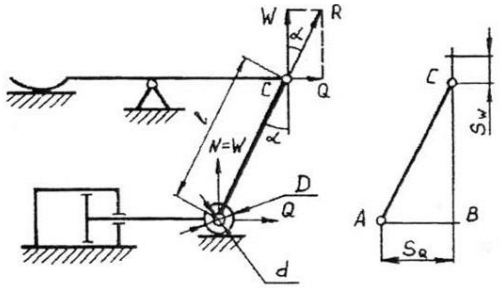


Рис.1. Розрахункова схема одноважільних шарнірних механізмів

Сила, що розвивається реальним механізмом, визначається за формулою:

$$W = Q\frac{1}{tg(\alpha+\beta)+tg\varphi_{1пр}}, \quad (1)$$

де β – додатковий кут до кута α, яким враховуються втрати на тертя ковзання в шарнірах: $\beta = \arcsin f(d/L)$;

$tg\varphi_{1пр}$ – приведений коефіцієнт тертя кочення, який враховує втрати на тертя в роликовій опорі: $tg\varphi_{1пр} = tg\varphi_1(d/D)$;

d – діаметр осей шарнірів і ролика; *D* – зовнішній діаметр ролика; *L* – відстань між

осями отворів важелі; f – коефіцієнт тертя ковзання в шарнірах і на осі ролика; $tg\varphi_1$ – коефіцієнт тертя ковзання на опорі ролика.

Для ідеальних двох важільних шарнірних механізмів односторонньої дії з трикутника сил знаходимо:

$$W_{iд} = Q\frac{1}{2tg\alpha},$$

тобто ці механізми при рівних вихідних силах розвивають в 2 рази меншу силу $W_{iн}$ ніж одноважільні.

Вибір струменевого приводу, як і любого приводу, повинен визначатися призначенням маніпулятора, вимогами до його технологічних характеристик, врахуванням вартості технічного обслуговування, експлуатаційних втрат і рядом інших факторів.

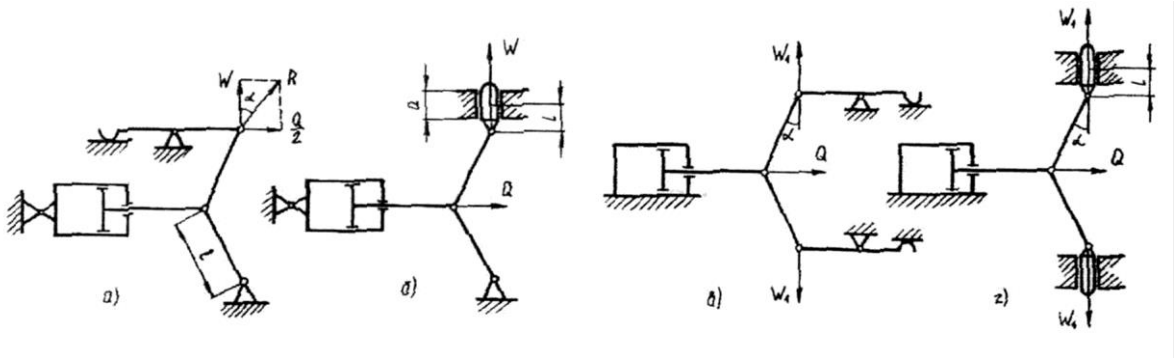


Рис.2. Схеми двохважільних механізмів:
а, б – односторонньої дії; *в, г* – двосторонньої дії

Для реального механізму без плунжера (рис.2):

$$W = Q\frac{1}{2tg(\alpha+\beta)}. \qquad (2)$$

У механізмі з плунжером (рис.2, б) крім тертя в шарнірах враховують тертя на плунжері:

$$W = Q\frac{1}{2}\left[\frac{1}{tg(\alpha+\beta)} - tg\varphi_{2пр}\right], \qquad (3)$$

де $\varphi_{2пр}$ – приведений коефіцієнт тертя, яким враховується втрати на тертя в консольному (перекошеному) плунжері:

$$tg\varphi_{2пр} = \frac{3l}{A}tg\varphi_2,$$

де $tg\varphi_2$ – коефіцієнт тертя ковзання в двоопорному (перекошеному) плунжері; A – довжина направляючої плунжера; l – відстань від осі шарніра до середини направляючої плунжера.

Двохважільні шарнірні механізми двохсторонньої дії можна розглядати як спарені одноважільні (рис.2 в, г). Для ідеального механізму сумарна сила визначається за формулою:

$$W_{iд} = Q\frac{1}{tg\alpha}.$$

Вибір струменевого приводу, як і любого приводу, повинен визначатися призначенням маніпулятора, вимогами до його технологічних характеристик, врахуванням вартості технічного обслуговування, експлуатаційних втрат і рядом інших факторів.

УДК 681.544

Роман Чернега
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УСТАНОВКИ ГІДРООЧИСТКИ КЕРОСИНУ

Проведений аналіз технологічного процесу гідроочистки керосину, з точки зору автоматичного контролю та керування, здійснено аналіз існуючих технології керування об'єктом.

Ключові слова: гідроочистка, система, параметр, налаштування регулятора, контролер.

Roman Cherneha

IMPROVEMENT OF THE AUTOMATION SYSTEM OF THE KEROSENE HYDROTREATER INSTALLATION

The analysis of the technological process of kerosene hydrotreating was conducted, from the point of view of automatic control and control, the analysis of the existing object management technology was carried out.

Keywords: water purification, system, parameter, regulator setting, controller.

Гідроочистка – одноступінчастий процес, який проходить в найбільш м'яких, у порівнянні з гідрокрекінгом та деструктивною гідрогенізацією, умовах. Процес гідроочистки протікає при температурі 350-430°С, тиску 3,0-6,0 МПа, циркуляції водневмісного газу 100-600 $м^3$/год, сировини та об'ємної швидкості 3-10 $год^{-1}$ із застосуванням каталізатора (найчастіше алюмокобальтмолібденовий чи алюмонікельмолібденовий). Гідроочистці як правило може піддаватися різна сировина, яка отримується як при первинній перегонці нафти, так само і при термокаталітичних процесах, від газу до масел і парафіну. Найбільше застосування гідроочистка має для знесірчення сировини каталітичного риформінгу, а також для отримання реактивного та малосірчастого дизельного палива з високосірчистих і сірчистих нафт. Під час гідроочистки відбувається часткова деструкція здебільшого сіркоорганічних та частково кисне- і азотовмісних з'єднань.

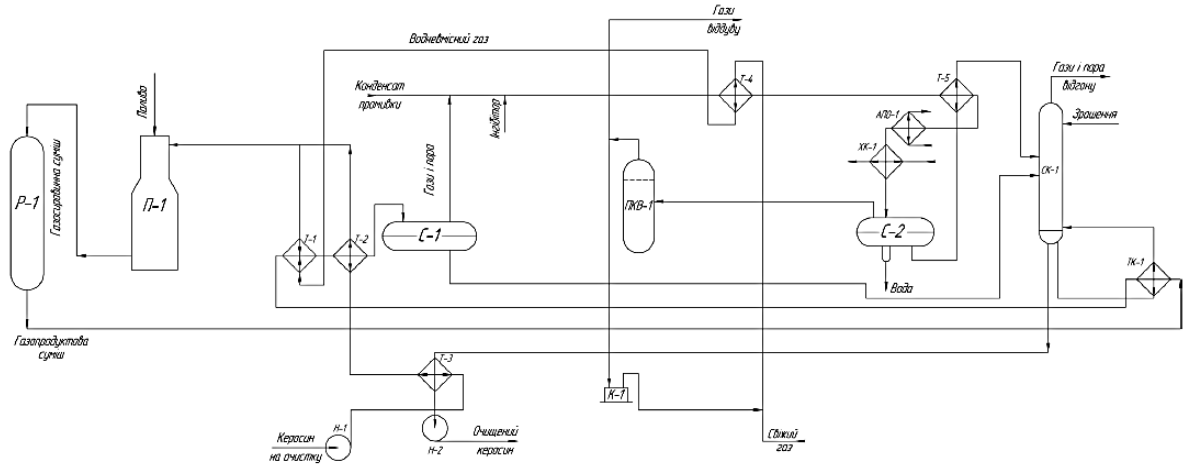


Рис. 1. Технологічна схема установки гідроочистки керосину

Найбільш поширеним гідрогенізаційним процесом являється гідроочистка або гідрозесірчення різних нафтових фракцій (від вуглеводних газів і легких бензинових до залишкових фракцій). Установка, технологічна схема якої представлена на рисунку 1, призначена для пониження вмісту сірки в сировині – керосині – з 0,166 до менше 0,001%(мас). Пропускна спроможність установки по сировині 3975м^3/добу, об'єм каталізатора в реакторі Р-1 156м^3, а внутрішній діаметр реактора Р-1 - 3,81м^3.

Сировина (керосин на очистку) насосом Н-1 транспортуться через теплообмінники Т-3 і Т-2 у лінію змішування неочищеного керосину із заздалегідь нагрітим в теплообмінниках Т-1 і Т-4 водневмісним газом. В результаті змішування отримана газосировинна суміш проходить змійовики печі П-1 і за тиску 4,2 - 4,4 МПа, а також температури близької до 380°С поступає у реактор Р-1 у якому шар каталізатора є нерухомим. Суміш, яка виходить знизу реактора, охолоджується послідовно в кип'ятильнику ТК-1 і теплообмінниках Т-1 і Т-2 і подається в сепаратора С-1. Тут, у високотемпературному (гарячому) сепараторові С-1, суміш розділяється за тиску близькому до 3,8 МПа на рідку та газопарову фази. Рідка фаза, є тим самим гідроочищеним керосином з розчиненими у нім газами та фракціями бензину (відгін). Після сепаратора С-1 газосировинна суміш піддається фізичній стабілізації в колоні СК-1.

Суміш пари і газу після виходу з сепаратора С-1 (при високому тиску) послідовно охолоджується у послідовно сполучених теплообмінниках Т-4 і Т-5. Перед теплообмінником Т-4 у цю суміш здійснюють уприскування конденсаційної води і розчину інгібітора корозії. Можна відзначити, що ділянка від теплообмінника Т-4 до конденсатора-холодильника ХК-1 найбільш схильна до корозії кислим сульфітом амонія. Зазвичай, щоб на даній ділянці при температурі потоку, що охолоджується, нижче 177°С швидкість руху отриманої суміші не перевищуючи 9 м/с, що поступає з водяного конденсатора-холодильника ХК-1 трифазна суміш розділяється за тиску 3,7 МПа та температури близької до 43°С в низькотемпературному (холодному) сепараторові С-2. Відстояний від води вуглеводневий конденсат, який складається переважно з бензинових і легких керосинових фракцій, після сепаратора С-2 проходить нагрівання у теплообміннику Т-5 та надходить в стабілізаційну колону СК-1.

Водневмісний газ, який йде з сепаратора С-2, пройшовши приймач ПКВ-1 з краплевідбійником, проходить стиснення компресором К-1 приблизно до тиску 4,9 МПа, а потім об'єднується зі свіжим газом - тобто технічним воднем. Суміш газів після нагріву в теплообмінниках Т-4 і Т-1 приєднується до нагрітої сировини. З стабілізаційної колони СК-1 згори виходять пари відгону та гази, а знизу - очищений керосин, режим роботи колони витримується таким, щоб отримати продукт з потрібною температурою спалаху.

Температура низу колони СК-1 становить 267°С, а тиск 0,44 МПа. Перед входом в теплообмінником Т-4 у потік газопарової суміші, яка має досить високу температуру, уприскується вода та розчин інгібітора. Температура суміші при цьому знижується до 205°С. Потім суміш поступає у теплобмінник Т-4. В сепараторі С-2 газопродуктова суміш розділяється при дещо вищій температурі.

Автоматизовану систему управління технологічним процесом і зборам даних розробляємо із врахуванням наступних вимог:

- система повинна забезпечити надійну і продуктивну роботу підприємства, виконуючи необхідні функції управління, які пов'язані із регулюванням технологічними змінними і захистом технологічного процесу і обладнання;
- система повинна забезпечувати взаємодію, в реальному масштабі часу, оператора і обслуговуючого персоналу з технологічним процесом і автоматизованим обладнанням, яке використовується в технологічному процесі, забезпечувати видачу

інформації за період до початку спостереження та інформації, яка необхідна для обліку і керівництва роботою підприємства.

Автоматизовану систему управління технологічним процесом і зборам даних розробляємо із врахуванням наступних вимог:

- система повинна забезпечити надійну і продуктивну роботу підприємства, виконуючи необхідні функції управління, які пов'язані із регулюванням технологічними змінними і захистом технологічного процесу і обладнання;
- система повинна забезпечувати взаємодію, в реальному масштабі часу, оператора і обслуговуючого персоналу з технологічним процесом і автоматизованим обладнанням, яке використовується в технологічному процесі;
- система повинна забезпечувати видачу інформації за період до початку спостереження і інформації, яка необхідна для обліку і керівництва роботою підприємства.

Для першого рівня передбачаємо три режими управління:

- командами, які поступають від вищого рівня;
- командами, які формуються безпосередньо першим рівнем;
- командами, які поступають від вищого рівня і командами, які формуються безпосередньо першим рівнем.

Для другого рівня передбачаємо такі режими управління:

- команди формуються безпосередньо на другому рівні;
- всі функції управління з другого рівня передаються на апаратуру першого рівня;
- частина команд формуються на другому рівні, а частина функцій управління передана на апаратуру першого рівня.

Така структура системи управління забезпечує її надійність, оперативність, ремонтопридатність. При цьому легко вирішується оптимальний рівень централізації управління з мінімальною кількістю засобів технологічного контролю, управління і ліній зв'язку між ними.

Функціональна схема технологічних процесів є основним технічним документом, який визначає структуру і характер систем автоматизації технологічних процесів, а також обладнання їх приладами і засобами автоматизації.

Вибір приладів здійснюється у відповідності із їх призначенням, метрологічними характеристиками і умовами експлуатації. Метрологічні прилади характеризуються границею пропорційності і точністю вимірювання. Границя вимірювання характеризується нижньою і верхньою границею вимірювання, а точність - класом точності приладу. Класи точності приладів повинні відповідати таким рядам: 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5;0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0.

Дана система автоматизації забезпечує дворівневий контроль та регулювання параметрами. На нижньому рівні контроль, регулювання та сигналізація здійснюється за допомогою мікропроцесорних контролерів МІК-51.

Індикатори технологічні мікропроцесорні ІТМ-11 (ІТМ-22) здійснюють індикацію одного (двох) параметру в технологічних одиницях на цифрових і лінійних індикаторах, також можна задавати і сигналізувати відхилення від вставок мінімум і максимум.

Всі вище описані регулятори, індикатори мають гальванічно розділений інтерфейс RS-485, і по протоколу ModBus якому іде збір інформації та конфігурування регуляторами та індикаторами за допомогою ПК. Оскільки ПК працює з послідовним інтерфейсом RS-232, то для перетворення інтерфейсів в двохсторонньому напрямку задіяний блок перетворювач інтерфейсів БПІ-485.

Оскільки технічні засоби автоматизації в даному проекті запропоновані однотипні, тому опишемо тільки типові контури керування.

Схема керування температурою перед реактором працює наступним чином - температура перед ректором вимірюється давачем температури, в вигляді уніфікованого сигналу ця інформація поступає на мікропроцесорний контролер МІК-51, де вона відображається на дисплеї, одночасно вимірюються витрати сировини і палива на вході трубчатої печі і ці параметри також відображаються і сигналізуються на цьому ж контролері. Далі відбувається регулювання цих параметрів за каскадною схемою, а саме: внутрішнім контуром керування є співвідношення витрат палива і повітря, а зовнішнім є регулювання температури перед реактором. Керуючий вплив від якого поступає на завдання регулятора співвідношення витрат. Керуючі сигнали (уніфіковані) від регулятора співвідношення подаються на електропневматичні позиціонери відповідних виконавчих механізмів, сигнал (уніфікований) про положення робочих органів подається на двоканальний індикатор ІТМ-22.

Схема регулювання температури в стабілізаційній колоні аналогічна до схеми регулювання температури перед реактором.

Вимірювання, контроль та регулювання тиску перед реактором здійснюється так: уніфікований сигнал від давача тиску поступає на мікропроцесорний контролер МІК-51, де він відображається і сигналізується. Створюється керуючий вплив (уніфікований сигнал) і поступає на електропневматичний позиціонер виконавчого механізму, що встановлений на лінії входу сировини в реактора. Сигнал про положення виконавчого механізму поступає на технологічний індикатор ІТМ-11.

Верхній рівень автоматизації на даній установці організований за допомогою SCADA системи. Вона забезпечує відображення ходу технологічного процесу на моніторі ПК, його параметрів, технологічну та аварійну сигналізацію, архівацію даних для статистики, а також передачу даних на вищий рівень. За її допомогою оператор може здійснювати дистанційну настройку регуляторів, зміну їх завдання по ходу технологічного процесу.

В даній роботі наведений аналіз технологічного процесу гідроочистки керосину, як об'єкту автоматизації. Подано суть та призначення процесу та здійснено опис роботи установки, наведено рекомендації для системи управління технологічним процесом.

Література

1. Багатуров С. А. Теория и расчет перегонки и ректификации / С. А. Багатуров. - М.:Госгоптехиздат, 1961.- 435 с.

2. Кузнецов А. А. Расчёты процессов и аппаратов нефтеперебатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. - М.: Химия, 1984. - 240 с.

3. Автоматизація процесів переробки нафти і газу / Г. Н. Семенцов, М. І. Горбійчук, Л. І. Жуган, С. А. Чеховський. - Львів, 1992. - 268 с.

УДК 004.658.2

Ігор Чихіра к.т.н, доцент, Віталій Левицький, к.т.н., Артур Микитишин
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЕТАПИ ОПТИМІЗАЦІЇ БАЗ ДАНИХ

У роботі розглянуто аспекти оптимізації баз даних, що дозволяє прискорити операції вибірки та модифікації даними.

Ключові слова: база даних, запити, індекси, оптимізація

Igor Chyhira, Vitaliy Levytskyy, Artur Mykytyshyn

STAGES OPTIMIZATION BASED DATA

Abstract. The paper considers the aspects of database optimization, which allows to speed up the sampling and modification of data.

Keywords: database, queries, indices, optimization.

Характерними особливостями баз даних (БД) є:

- незалежність даних від програм;
- для даних допускається така мінімальна надлишковість, яка сприяє їх оптимальному використанню в одному чи кількох застосуваннях;
- для пошуку та модифікації даних використовуються спільні механізми;
- як правило, у складі БД існують засоби для підтримки її цілісності та захисту від неавторизованого доступу.

Оптимізація баз даних необхідна, коли в БД постійно додаються і видаляються записи. Таким чином оптимізація таблиць БД дозволяє прибрати «порожні» ключі, тим самим прискорюючи в майбутньому операції вибірки.

Можливі такі методи оптимізації БД:

- безпосередньо сама оптимізація БД і СУБД в цілому;
- оптимізація взаємодії програми та MS SQL Server;
- оптимізація запитів.

При оптимізації БД в цілому необхідно уникати: застою процедурного кешу, неоптимальних індексів та статистики. Виникає потреба у регламентних роботах в час мінімальної загрузки або проводити відповідні процедури на резервному сервері. Результативною буде робота при початковій оптимізації індексів і в подальшому очищенню процедурного кешу та оновлення статистики. Процес очистки процедурного кешу проводять командою: dbcc flushprocind ('ім'я бази даних'). Дана очистка корисна для БД з об'ємом до 500 Gb та при частому оновленню даних у базі даних. Оптимізація індексів включає фактори, які потрібно уникнути: сильно фрагментовані індекси, невикористовуванні індекси, відсутні індекси, індекси, які для свого обслуговування використовують більше витрат, ніж приносять виграш в продуктивності. Слід відзначити те, що навіть якщо індекс не використовується або вимагає значних витрат, то не потрібно поспішати його видаляти. Необхідно переконатися в тому, що він дійсно не потрібен системі. Для цього необхідно на тестовому середовищі, яке максимально наближене до виробничого, провести необхідні випробування-спочатку з індексом, а потім з віддаленим індексом. Таким чином для автоматизації процесу оптимізації індексів можна зробити наступні кроки: для кожної потрібної БД визначити

представлення і збережену процедуру, створити завдання в агента на періодичний виклик збереженої процедури з БД по адмініструванню. Важливо не забувати оновлювати статистику після реорганізації індексу, так як в такому випадку вона не оновлюється, а також при виконанні очищенню процедурного кешу [1].

При методі оптимізації взаємодії програми та MS SQL Server потрібно:
- працювати не з рядком, а з набором при відправці команд в БД; - асинхронно відправляти запити до БД і не змушувати користувача чекати відгуку програми;
- відправляти запити до БД комплексно, а не поодиноко (особливо актуально при зміні даних); -проводити кешування для всіх компонентів программного забезпечення, щоб зменшити звернення до БД; - правильно задавати рівень ізоляції при роботі з БД; - на серверній стороні програмного забезпечення при необхідності реалізовувати чергу звернень до БД; - не проводити фільтрацію по великого масиву даних не на стороні системи управління БД.

Наступним етапом оптимізації баз даних є вимоги до покращення створення запитів. Загальними рекомендаціями щодо оптимізації самих запитів є:
- заздалегідь якомога оптимальне фільтрування даних ще до моменту з'єднання їх з іншими таблицями;
- якомога менше за обсягом даних сортувати у результуючий набір;
- по можливості уникати конструкції DISTINCT, LIKE '% ...', OUTER JOIN особливо на великих об'ємах даних;
- якщо у вибірці потрібно лише одне поле від приєднаної таблиці, то не потрібно приєднувати таблицю, а в самій вибірці зробити підзапит;
- при фільтрації, агрегації і вибірці потрібно враховувати наявні індекси, щоб оптимізатор міг ними скористатися;
- повертати тільки ті поля, які дійсно потрібні, а не всі поля з усіх з'єднаних таблиць;
- не перевантажувати умови для з'єднання таблиць, а краще винести частину умови в фільтр [2].

Слід зауважити, що при зростанні розмірів інформаційної системи, зокрема кількості одночасних користувачів і обсягів самої БД, варто продумати поділ систем на OLTP і OLAP, де фонові завдання будуть виконуватися з OLAP-системою, а завдання реального часу, які виходять від користувачів, будуть виконуватися з OLTP-системою. Такий поділ дозволить ще більш чітко налаштувати кожну з систем і в значній мірі знизить навантаження на OLTP-систему [3].

Використання даних методів дозволить оптимізувати роботу системи управління базою даних з врахуванням подальшого розвитку інформаційної системи та збільшенням кількості одночасних звернень до БД.

Література.

1. Джеймс Р. Грофф, Пол Н. Вайнберг. SQL: полное руководство: пер. с англ. – К.: Издательская группа BHV, 2003. – 608с.
2. Ковязин А., Востриков С. Мир InterBase. – М.: Кудиц-Образ, 2004. – 560с.
3. Артеменко Ю.Н. MySQL. Руководство администратора — М.: Вильямс, 2005. — 624 с.

УДК 681.513

Юрій Шепетуха, к.т.н., с.н.с., Олександр Волков, Микола Комар
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України; Київ

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Проаналізовано підходи до інтелектуалізації сенсорних мереж, що є важливою складовою створення інтелектуальних технологій та систем автономного управління рухом транспортних засобів у складних навігаційних ситуаціях.

Ключові слова: сенсорна мережа, інтелектуальне управління, розпізнавання об'єктів, оптичний сенсор, штучний інтелект.

Yuriy Shepetukha, Oleksander Volkov, Mykola Komar

INTELLECTUALIZATION OF SENSOR NETWORKS IN THE SYSTEMS FOR AUTONOMOUS CONTROL OF VEHICLES MOVEMENT

The work is devoted to analysis of approaches to sensor networks' intellectualization, which is an important component in the creation of intelligent technologies and systems for autonomous control of vehicles movement in complex navigational situations.

Keywords: sensor network, intelligent control, object recognition, optical sensor, artificial intelligence.

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку інтелектуальних інформаційних технологій є інтелектуалізація управління динамічними об'єктами та процесами. Нові підходи до управління можуть бути впроваджені, зокрема, для забезпечення автономного інтелектуального управління різними типами транспортних засобів у складних навігаційних ситуаціях. Подібні ситуації характеризуються високою щільністю руху транспортних засобів, дії кожного з яких плануються та виконуються у відповідності зі своїми цілями, завданнями та пріоритетами. Особливістю таких задач управління є те, що їх необхідно вирішувати в реальному масштабі часу - навіть за умов значної інтенсивності руху та у критичних режимах функціонування. Ще однією принциповою відмінністю цих задач є важкість або взагалі принципова неможливість отримання повної та достовірної інформації про стан поточної навігаційної ситуації. При цьому рівень невизначеності істотним чином впливає на структуру формування найбільш ефективних підходів до обробки наявних даних та організації інформаційного забезпечення процесів управління. Необхідно також враховувати, що характерною рисою багатьох задач інтелектуального управління є розосередження відповідних прикладних процесів та інформаційних складових. Тому інтелектуальне управління розподіленими динамічними об'єктами передбачає організацію комп'ютерно-комунікаційних мереж, які забезпечують інтеграцію локальних засобів обробки даних із розподіленими у просторі інформаційними та функціональними компонентами.

Принципова обмеженість інформаційних ресурсів систем управління обумовлює доцільність поетапної структуризації наявних даних щодо суттєвих компонентів поточної навігаційної ситуації - з метою послідовного поліпшення інформаційного забезпечення процесів управління. При цьому необхідно інтегрувати наступні три складові такого інформаційного забезпечення: інформація про суттєві характеристики зовнішнього середовища; інформація про стан внутрішніх ресурсів системи управління;

інформація про наявний досвід функціонування системи в даному середовищі. Різним типам ситуацій відповідають різні співвідношення між ступенями важливості вищезазначених інформаційних складових. Можливість комунікації та інформаційного обміну сприяє поліпшенню рівня інформаційного забезпечення процесу управління, а також може надавати можливість для кооперативного групового управління відносним позиціюванням рухомих об'єктів [1]. В той же час досить часто мають місце випадки, коли, з низки об'єктивних та суб'єктивних причин, необхідно аналізувати навігаційні ситуації та здійснювати управління рухом в умовах обмеження можливостей обміну інформацією з диспетчерськими пунктами та з іншими транспортними засобами. За таких обставин особливе значення має наявність своєчасної та достовірної інформації про важливі параметри та характеристики зовнішнього середовища. Саме на основі таких відомостей здійснюється вибір найбільш ефективного варіанту автономного управління. Отримання цієї критичної для функціонування системи інформації може бути здійснено шляхом побудови бортової сенсорної мережі з відповідною структурною організацією.

Бортова сенсорна мережа є програмно-технічним засобом, за допомогою якого можна як доповнювати інформацію від диспетчерських пунктів обробки даних, так і, у разі необхідності, забезпечувати автономне функціонування розподіленої високоточної системи інтелектуального управління. Наприклад, сукупність різних видів сенсорів, організованих у таку мережу, може бути основним джерелом вхідних даних для випадку автономного управління рухом пілотованих та безпілотних літальних апаратів у складних навігаційних умовах і критичних режимах функціонування. Процес автономного управління рухом транспортного засобу включає наступні етапи: отримання даних від сенсорної мережі; обробка отриманих даних та оцінювання поточної ситуації; генерація альтернативних стратегій управління та аналіз короткострокових і довгострокових наслідків використання сформованих стратегій; вибір та реалізація найбільш прийнятної стратегії управління. Тому необхідною передумовою ефективності інформаційного забезпечення процесу управління є дослідження таких його складових, як отримання даних від сенсорної мережі та обробка отриманих даних з метою ідентифікації наявних об'єктів і всебічного аналізу ситуації. Стала робота інтелектуальних комплексів автономного управління неможлива без наявності достатнього обсягу надійних первинних даних. Для їх отримання потрібно, перш за все, визначитися із вибором та ефективною інтеграцією найбільш адекватних поточній ситуації типів сенсорів - таких як, наприклад, радіолокаційні, оптичні, акустичні. Сучасний стан та перспективи використання ряду стандартних типів сенсорів розглянуті, зокрема, у роботі [2]. Ефективне комплексування окремих типів сенсорів у єдину комп'ютерно-комунікаційну мережу надає можливість інформаційної підтримки різних компонентів інтелектуальної поведінки. Наприклад, акустичні сенсори дозволяють ідентифікувати елементи зовнішнього середовища за допомогою порівняння їх акустичних сигнатур із акустичними сигнатурами типових класів об'єктів. Це забезпечує системі можливість цілеспрямованої інтелектуальної поведінки навіть за умов обмеженої видимості, коли деякі типи сенсорів не в змозі генерувати своєчасну та достовірну інформацію стосовно особливостей поточної ситуації.

Системи інтелектуального управління використовують різноманітні дані з великої кількості джерел, а також здійснюють інтеграцію цих даних у цілісні образи поточної ситуації. Сенсорні мережі об'єднують різні інформаційні джерела у єдину структуру. Проблему ідентифікації об'єктів, що є суттєвими складовими поточної ситуації, за допомогою сенсорної мережі можна сформулювати наступним чином: розпізнати реальні об'єкти шляхом виявлення та аналізу деяких наборів їх сталих ознак. Задачі виявлення та аналізу сталих ознак за своєю сутністю є інтелектуальними, тому підходи до їх вирішення ґрунтуються як на моделях та парадигмах

інтелектуалізації, так і на використанні сучасних інформаційних технологій, що дозволяють ефективне застосування цих моделей та парадигм. При цьому важливим є комплексування у мережу таких типів сенсорів, які здатні формувати елементи штучного інтелекту та забезпечувати можливість перенесення інтелектуальних складових із етапу аналізу сталих ознак безпосередньо у процес управління. З цієї точки зору багатообіцяючою є перспектива використання в системах автономного управління рухом транспортних засобів оптичних сенсорів. Інформацію, що формується цими сенсорами для подальшої обробки, будемо називати оптичною інформацією. У теперішній час існують різні типи оптичних сенсорів - камери на основі приладу зі зарядовим зв'язком, відеокамери, тепловізори, лазерні сканери. Великий потенціал оптичних сенсорів з точки зору інтелектуалізації сенсорних мереж пояснюється як спроможністю цих сенсорів генерувати великі обсяги первинних даних, так і можливістю створення ефективних алгоритмів обробки даних з метою формування інформаційних образів поточної ситуації.

Аналіз функціонування реальних систем автономного управління транспортними засобами, зокрема, літальними апаратами, показує, що вони широко використовують відеокамери. Такі оптичні сенсори працюють у пасивному режимі, що істотно збільшує їх завадостійкість. Крім того, вони мають меншу вагу і споживають менше енергії - у порівнянні, наприклад, з радарами, лазерними сканерами та іншими активними сенсорами. За допомогою мережі оптичних сенсорів може формуватися тривимірне відображення реальних об'єктів та здійснюватися стеження за ними. Інтелектуалізація цієї сенсорної мережі дозволяє перейти до вирішення задачі визначення характерних ознак зображень об'єктів - з метою їх співставлення та подальшої ідентифікації. Слід зазначити, що співставлення зображень є обов'язковим етапом вирішення багатьох інтелектуальних задач, пов'язаних із розпізнаванням об'єктів - таких, наприклад, як дослідження сцен; побудова тривимірних образів на основі узагальнення великої кількості двовимірних зображень; обчислення місцезнаходження, оцінка орієнтації, відстеження та визначення параметрів руху об'єктів. При цьому використовуються такі види ознак, як точки, лінії та контури, а також різні варіанти їх поєднання у комбіновані ознаки. Обов'язковим етапом інтелектуалізації сенсорних мереж є формування та занесення до бази даних наборів характерних ознак зображень об'єктів. За рахунок цього забезпечується інформаційна підтримка функціонування систем інтелектуального управління транспортними засобами в автономному режимі.

Висновки

1. Важливим напрямком розвитку штучного інтелекту є дослідження закономірностей використання та шляхів інтелектуалізації сенсорних мереж.

2. Побудова ефективних бортових сенсорних мереж є важливою складовою створення інтелектуальних технологій та систем автономного управління.

3. Застосування комп'ютерно-комунікаційних мереж на основі оптичних сенсорів є перспективним засобом для ідентифікації характерних ознак зображень об'єктів.

Література

1. Tang S. Cooperative relative positioning for intelligent transportation system / S. Tang, N. Kubo, N. Kawanishi, R. Furukawa, A. Hasegawa, Y. Takeuchi // International Journal of Intelligent Transportation Systems Research. – 2015. - Vol. 13. - №3. – P. 131-142.

2. Birch G.C. UAS detection, classification, and neutralization: Market survey 2015. [Електронний ресурс] / G.C. Birch, J.C. Griffin, M.K. Erdman // Sandia National Laboratories, Lockheed Martin Corporation, USA; Report SAND2015-6365. - 2015. - Режим доступу: http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2015/156365.pdf.

УДК 347.78

Олег Шкодзінський, к.т.н., доц., Михайло Луцків
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ОБЛІК АВТОРСЬКИХ ПРАВ РОЗРОБНИКІВ НА ЕЛЕКТРОННІ НАВЧАЛЬНІ КУРСИ У СЕРЕДОВИЩІ ATUTOR

Описано процедуру обліку, збереження та публікації авторських прав розробників електронних навчальних курсів (ЕНК). Реалізовано у середовищі системи електронного навчання ATutor у вигляді інформації про внесок автора (авторів) з врахуванням кількісного значення обсягу створеного навчального контенту. Інформація про внесок авторів публікується у виносках до навчального матеріалу ЕНК

Ключові слова: електронний навчальний курс, авторське право на електронну публікацію, електронне видання

Oleh Shkodzinsky, Mykhailo Lutskiv

AUTOMATED ACCOUNTING OF COPYRIGHTS FOR AUTHORS OF ELECTRONIC EDUCATIONAL COURSES IN THE ENVIRONMENT OF ATUTOR

The procedure for the registration, storage and publication of copyright for authors of electronic training course (ETC) is described. Implemented in the environment of ATutor learning management system in the form of information on the contribution of the author(s), taking into account the quantitative value of the created educational content. The contributions of the authors are published in footnotes to the educational material in the ETC.

Keywords: electronic training course, copyright on electronic publication, electronic edition

З розвитком інформаційно-комунікаційних технологій та інформатизації на їх основі суспільства у цілому й освітньої діяльності, зокрема, усе частіше з'являються новітні форми вираження творчої діяльності авторів. Оскільки у нормативно-правових актах не наводиться вичерпний перелік об'єктів авторського права, яким надається правова охорона, необхідно приділити окрему увагу питанню правової охорони об'єктів авторського права, які створюються в електронному вигляді та поширюються через мережу Інтернет. Електронне навчальне видання є одним з таких об'єктів, права на який належать авторові (-ам) чи упоряднику (-ам), та яке має специфічні ознаки [1].

У закладах освіти дедалі частіше навчальні матеріали (конспекти лекцій, методичні вказівки, практикуми, засоби тестування знань тощо) розробляються, публікуються і використовуються виключно в електронному вигляді. Електронні навчальні видання можуть бути як у формі електронних підручників чи посібників, так і у формі електронних навчально-методичних комплексів (електронних засобів навчання) і, у тому числі, у формі електронних навчальних курсів (ЕНК), розгорнутих у середовищі систем управління навчанням (learning management system, LMS). У процесі свого використання, завдяки своїй інтероперабельності, ЕНК можуть модифікуватися (оновлятися) з врахуванням певних чинників, доопрацьовуватись іншими авторами, адаптуватись до нових робочих програм, мігрувати та доповнюватись запозиченими матеріалами з ЕНК інших авторів, передаватись у користування іншим викладачам-інструкторам тощо.

У зв'язку з цим виникає потреба в автоматичному відслідковуванні авторських прав на ті чи інші частини навчального контенту та висвітлюванні їх при публікації матеріалів з врахуванням значимості внеску кожного з авторів.

Один з варіантів вирішення цієї проблеми запропоновано центром електронного навчання Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на базі LMS ATutor, котра використовується як основа для формування віртуального освітнього середовища університету [2].

Поряд з автоматизованим обліком ступеня впровадження ЕНК, де враховуються кількісні та якісні показники використання електронного курсу [3], створена система обліку авторських прав. Авторське право враховується окремо на кожну одиницю (сторінку) матеріалу і кожне тестове завдання (запитання) у базі даних запитань, виходячи з профілю, під яким цей матеріал був створений та збережений. Інформація про автора зберігається за цими одиницями при експорті-імпорті (наприклад, в інші ЕНК) чи резервному копіюванні.

Виноска внизу кожної сторінки електронного курсу має вигляд:

© Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя [Сертиф. № номер]

© Середенко А.П., Українець У.М.

© Частково: Устименко О.У.

Рядки основних авторів та співавторів з частковим внеском формуються у порядку спадання зробленого внеску в електронний курс. Відсоток внеску розраховується виходячи з кількості створених тестових запитань та сторінок матеріалу. При цьому одна сторінка матеріалу (яка містить хоча б 2000 символів) вважається еквівалентною 20 тестовим запитанням. У рядок основних авторів (співавторів) потрапляють ті, хто зробив внесок понад 30% від обсягу навчального матеріалу. До рядка часткового внеску записуються автори за внесок 5%..30%.

Також до числа авторів в будь-якому разі додаються: автор(и)-власник(и) сертифікату цього курсу а також, може включатись поточний інструктор у разі, коли рядок авторів порожній, тобто коли курс не містить ще запитань і сторінок матеріалу з понад 2000 символами.

При внесенні в ЕНК сторінок матеріалу та тестових запитань відбувається асоціювання їх із автором, який їх вносить. Асоціації (зв'язки) зберігаються у таблицях реляційної бази даних. Надалі жодна операція (окрім видалення) із цими об'єктами не може модифікувати ці асоціації: редагування, експорт та імпорт у інший курс, зміна власника курсу, резервне копіювання та відновлення курсу, покидання автором курсу. При експорті сторінок матеріалу (пакунки IMS/SCORM) та тестових запитань (пакунки QTI) в пакунки експорту додається інформація про асоціації. Для захисту від редагування, інформація про авторське право шифрується приватним ключем симетричного алгоритму AES-128.

Отже, впровадження такої системи обліку авторства навчальних матеріалів у середовищі LMS ATutor дало можливість в автоматичному режимі відслідковувати та підтверджувати авторські права розробників матеріалів електронних навчальних курсів, не зважаючи на міграцію контенту у середовищі електронного навчання.

Література

1. Лодюк Д. П. Електронне видання як об'єкт авторського права // Юридичний науковий електронний журнал, №6, 2014. – С. 50-52.
2. Дячук С. Ф., Коноваленко І. В. Шкодзінський О. К. Віртуальне освітнє середовище ТНТУ на базі LMS ATutor // Міжнародний наук.-практичний семінар «Теорія і практика дистанційного навчання іноземних громадян: вітчизняний та міжнародний досвід» ХНУРЕ, 12 листопада 2014. – С. 11-15.
3. Костишин С. О., Шкодзінський О. К. Метод та автоматизована система оцінювання ступеня впровадження навчальних курсів у віртуальному навчальному середовищі // Праці наук.-метод. конференції «Впровадження нових інформаційних технологій навчання». – Харків, 2007.– С. 100–104.

УДК 621.867.52

Олександр Шовкун, Ігор Козбур
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

РЕЗОНАНСНИЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ВІБРАЦІЙНИЙ ПРИВОД ЖИВИЛЬНИКА З ФАЗОВИМ ПІДЛАШТУВАННЯМ ЧАСТОТИ ЗБУДЖЕННЯ

Alexander Shovkun, Ihor Kozbur

REZONANS ELECTROMAGNETIC VIBRATION DRIVE FEEDER WITH PHASE ADJUSTMENT OF THE EXCITATION FREQUENCY

Резонансні електромагнітні приводи вібраційних живильників, призначених для транспортування та поштучної видачі заготовок , мають численні переваги над іншими.

Це велика питома потужність, живлення від мережі змінного струму частотою 50 або 60 Гц, висока ефективність.

Але, реалізація резонансного режиму роботи потребує або використання в приводі електромеханічного зворотнього зв'язку, [1] або системи фазової атопідстройки частоти (ФАПЧ), [2] тому, що, чим «гостріший» резонанс, тим ефективніша робота приводу, і тим складніше його підтримувати, компенсуючи зміну коливальної маси і зовнішні дестабілізуючі фактори.

Недоліком резонансних приводів є ускладнене регулювання амплітуди коливання робочого органу. Зміна електричної потужності в обмотці приводу, або призводить до зменшення амплітуди до нуля, або до зростання її до максимуму.

Класичний живильник з електромагнітним віброприводом передбачає механічне налаштування коливальної системи шляхом зміни маси і жорсткості пружин. Режим роботи при цьому вибирають, як правило, дорезонансний, що є певним компромісом.

Розроблений електромагнітний вібраційний привод з системою ФАПЧ дозволяє здійснювати регулювання амплітуди коливання робочого органу шляхом зміщення робочої частоти відносно частоти резонансу.

Функціональна схема приводу зображена на рис.1

Цифрами позначені: 1- вібраційна машина, 2- вібраційний давач, 3- фазовий компаратор, 4- фільтр низьких частот, 5- генератор, керований напругою, 6-підсилювач потужності, 7- електромагнітний вібраційний збуджувач коливань, 8- блок затримки імпульсів.

Привід працює наступним чином. Головний вузол приводу- генератор керований напругою 5 (ГКН). Він виробляє однополярні прямокутні імпульси зі шпаруватістю Q=2(меандр). Ці імпульси надходять на вхід підсилювача потужності 6, вихід якого з'єднаний з обмоткою збуджувача коливань7 за допомогою напівпровідникового діода, та одночасно подаються на один з входів фазового компаратора 3. Другий вхід фазового компаратора з'єднаний з виходом вібраційного давача 2, розташованого на коливальній масі вібраційної машини.

Імпульси з виходу підсилювача, проходячи по обмотці вібраційного збуджувача коливань, приводять в рух коливальну масу вібраційної машини, що призводить до появи сигналу на виході вібродавача 2, і як наслідок – на другому вході фазового компаратора. Фазовий компаратор реєструє різницю фаз між цим сигналом і сигналом з виходу ГКН, перетворюючи її в імпульси, тривалість яких пропорційна цій різниці. Вони згладжуються інтегруючою ланкою (ФНЧ), формуючи напругу розузгодження. Ця напруга керує частотою генератора 5, наближая її до частоти сигналу вібродавача

до тих пір, поки обидві частоти не зрівняються, тобто привід не запрацює в резонансному режимі роботи.

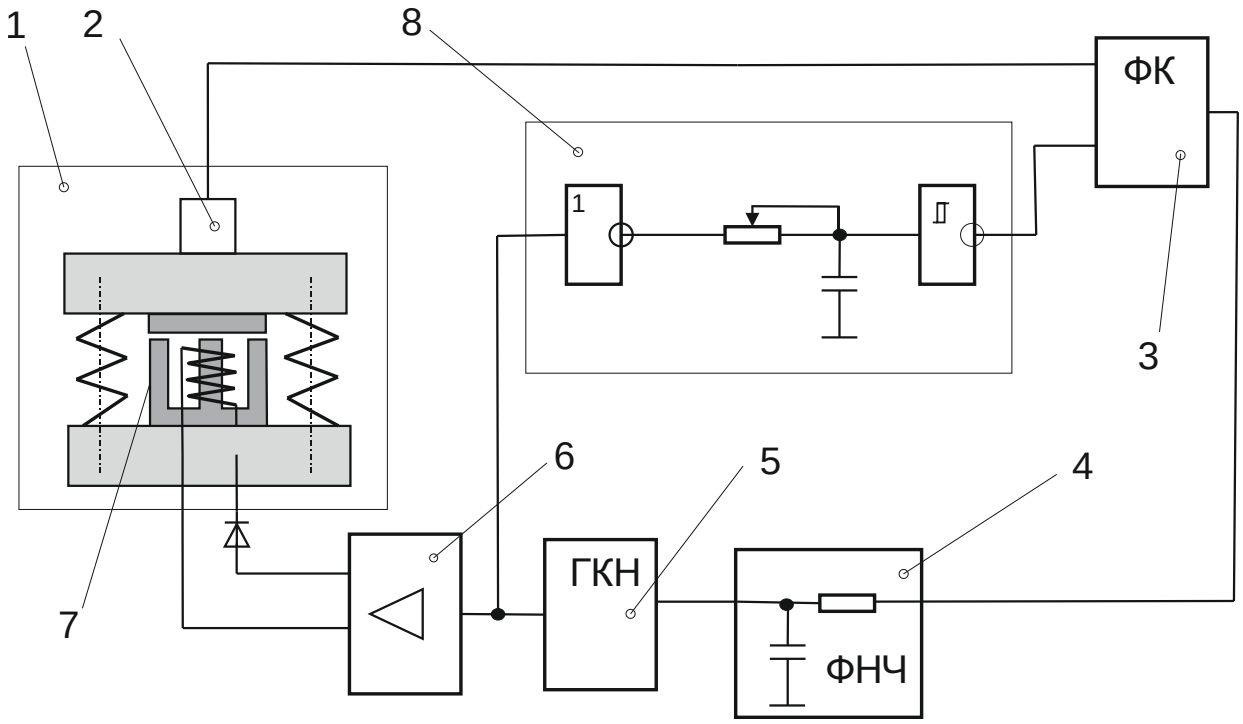


Рис. 1. Функціональна схема резонансного вібраційного приводу з фазовим підлаштуванням частоти збудження.

Але, для реалізації можливості регулювання амплітуди коливання робочого органу, сигнали з виходу ГКН поступають на вхід ФК проходячи через блок затримки імпульсів 8, виконаного на двох інверторах та інтегруючій R-C ланці.

Ця затримка дає змогу плавно змінити режим роботи вібраційної машини від «резонансного» до «дорезонансного», і плавно змінити амплітуду коливання робочого органу від максимальної, до практично нульової.

Привід був реалізований на інтегральній мікросхемі К564ГГ1 (аналог 4046) та двох інверторах КМОП структури. Діод в колі обмотки потрібен для виключення подвоєння частоти якоря збуджувача коливань.

Література

1. Электромагнитный вибропривод питателя: А.с. № 776961, СССР, МКИ В 65 G 27/24, Л. П. Рыбак, А. П. Шовкун. – 1980; Бюл. - № 41, - 2 с.
2. Патент України № 28978 B65G27/24, Шовкун О.П. Електромагнітний привід резонансної вібраційної машини.
3. Зельдин Е.А. «Импульсные устройства на микросхемах», - М.: Радио и связь, 1991.- 160с.

УДК 378.147

Якубовський Олександр; Родіонов Павло, к.е.н., ст. викл.
НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОГРАМ OpenGL

У статті проаналізовано напрями оптимізації програм OpenGL через використання атласів. Розглянуто роль взаємодії та рендерингу об'єктів.

Ключові слова: програми OpenGL, атласи, рендеринг.

Yakubovsky Alexander, Rodionov Pavlo

OPTIMIZING OpenGL PROGRAMS

The article analyzes the directions for optimizing OpenGL programs through the use of atlases. The role of interaction and rendering of objects is considered.

Keywords: OpenGL programs, atlases, rendering.

При створенні комп'ютерної графіки важливим етапом є її оптимізація, адже без цього переміщення по сценах буде не плавним або майже неможливим. Оптимізація впливає на такі важливі чинники як кількість використаної пам'яті та кількість кадрів у секунду(FPS).

Метою даної роботи є розглянути основні прями оптимізації програм OpenGL шляхом використання атласів.

Одним із типових рішень проблеми оптимізації OpenGL програм є використання атласів. Тобто перетворення декількох маленьких текстурних елементів на один великий. Таким чином здійснюється економія пам'яті та зменшується кількість батчів при відображенні. Атласи мають різні форми: прямокутні, квадратні. Але на таких атласах проблеми створюють прозорі структури, що залишають за собою багато вільного місця. Для вирішення цієї проблеми використовують «полігональні атласи». У таких атласах, відображення текстур відбувається за рахунок великої кількості трикутників, що відмічають границі текстури. При їх використанні, процес відображення прискорюється, адже відтворювана площа стала меншою. Хоча у цього методу є і недоліки, коли ми використовуємо прямокутні або квадратні атласи, то на текстуру виділяється лише два трикутники. При використанні атласів полігонального типу, таких трикутників стає надто багато.

Рис. 1. Приклад «полігонального атласу»

Occlusion query – це метод відображення простої моделі замість складної, під час цього процесу надходить запит до графічного адаптера, чи перекриється складна модель та чи потрібно її малювати. Під час рендерінгу картинки відбувається підрахунок видимих пікселів, якщо їх достатньо, то складна модель малюється. У випадку коли пікселів недостатньо, графічний ефект моделі може бути послаблений. На рис. 2 та 3 показано в дії метод Occlusion query, а саме факт того, що рендеринг сонця не відбувся. Таким чином не було спричинено більшого навантаження на графічний адаптер.

Рис. 2. Присутність складної моделі(сонця) на зображенні

Рис. 3. Сонце було перекрите простим об'єктом.

При відображенні великої кількості майже однакових об'єктів рендеринг картинки буде відбуватися багато разів, в такому випадку продуктивність буде надто низькою. Ця проблема з'являється саме через велику кількість викликів функцій відображення примітивних об'єктів. Щоб уникнути такої проблеми використовують Instancing – технологію, що дозволяє виводити велику кількість об'єктів,

використовуючи лише один виклик функції, що звільняє від зайвого обміну інформацією між головним та графічним процесорами при рендері.

Рис. 4. Зображення з використанням технології Instancing

Без інстансінгу плавний перехід по сцені був можливий лише в діапазоні від 1000 до 1500 астероїдів. На рис. 4 можна спостерігати 100000 таких астероїдів. Кількість кадрів у секунду зменшуватися не буде при переміщенні по сцені, адже для відображення 1000 астероїдів функція буде викликатися лише 100 раз.

Значну роль у оптимізації OpenGL програм відіграє взаємодія та рендеринг об'єктів. У даних методах оптимізації можна помітити принцип DRY з програмування. Цей принцип яскраво виражений у методах з атласами та інстансінгу. Occlusion query виконує не менш важливу операцію, що значно оптимізує програму та звільняє сцену від зайвих об'єктів.

Таким чином, існує велика кількість способів проведення оптимізації при створенні комп'ютерної графіки. В рамках даної роботи було розглянуто методи, що спряють покращенню продуктивності роботи програм.

Література

1. Как оптимизировать игру с помощью полигональных атласов [Електронний ресурс] // Сергій Шестаков технічний директор компанії Playrix. URL:https://habr.com/ru/company/playrix/blog/306554/

2. Instancing [Електронний ресурс] // Copyright by Joey de Vries URL:https://learnopengl.com/Advanced-OpenGL/Instancing

Секція: СВІТЛОТЕХНІКА І ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

Керівник: проф. Микола Тарасенко

УДК 621.311

Олег Буняк, к.т.н., доц., Сергій Бабюк, к.т.н., Іван Сисак, к.т.н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТОМЕРЕЖІ

Запропоновано інтелектуальний пристрій частотного розвантаження енергосистем з заданими алгоритмами і програмою, що реагують на швидкість зниження і відновлення частоти після аварії.

Ключові слова: інтелектуальний пристрій, частотне розвантаження, мікроконтролер, електрична мережа, електроенергетична система.

Oleh Buniak, Ph.D., Serhii Babiuk, Ph.D., Ivan Sysak, Ph.D.

INTELLIGENT DEVICE FOR AUTOMATIC REGULATION OF ELECTRICITY PARAMETERS

An intellectual device for frequency dipping of power systems with given algorithms and programs that respond to the rate of reduction and recovery of frequency after an accident is proposed.

Keywords: intelligent device, frequency unloading, microcontroller, electric network, electric power system.

Питання якості електричної енергії вимагають більш ретельної розробки і вивчення явищ, що відбуваються при цьому. Особливі труднощі викликані відсутністю необхідних вимірювальних приладів в електричних мережах і необхідністю зміни методів вимірювання. Це пов'язано, зокрема, із впливом випадкового характеру зміни навантажень, що у свою чергу вимагає застосування статистичних приладів і відповідного опрацювання одержуваної інформації - використання ймовірносно-статистичних методів розрахунку. Аналіз системних аварій зі значною втратою генеруючих потужностей і роботи автоматичного частотного розвантаження (АЧР) показав, що ефективність частотного розвантаження енергосистем можна підвищити за рахунок впровадження інтелектуального пристрою з заданими алгоритмами і програмою, що реагують на швидкість зниження і відновлення частоти після аварії [1].

Пристрій складається з мікропроцесорного блоку і системи сенсорів параметрів навантаження мережі, що забезпечує управління автоматичними вимикачами, а також контроль параметрів основних комутаційних елементів. Передбачається, що пристрій буде виконувати наступні функції:

- автоматичне частотне розвантаження електроенергетичних систем, які реагують на швидкість зниження частоти і швидкість її відновлення;
- зберігати робочий стан за відсутності напруги живлення протягом доби;
- захищати мінімальну напругу (зникнення або недопустиме зниження напруги більш ніж на 15% від номінальної);

- автоматичне повторне включення відключених приєднань при відновленні частоти струму.

В даний час розроблено його принципову схему, яка приведена на рис.1.

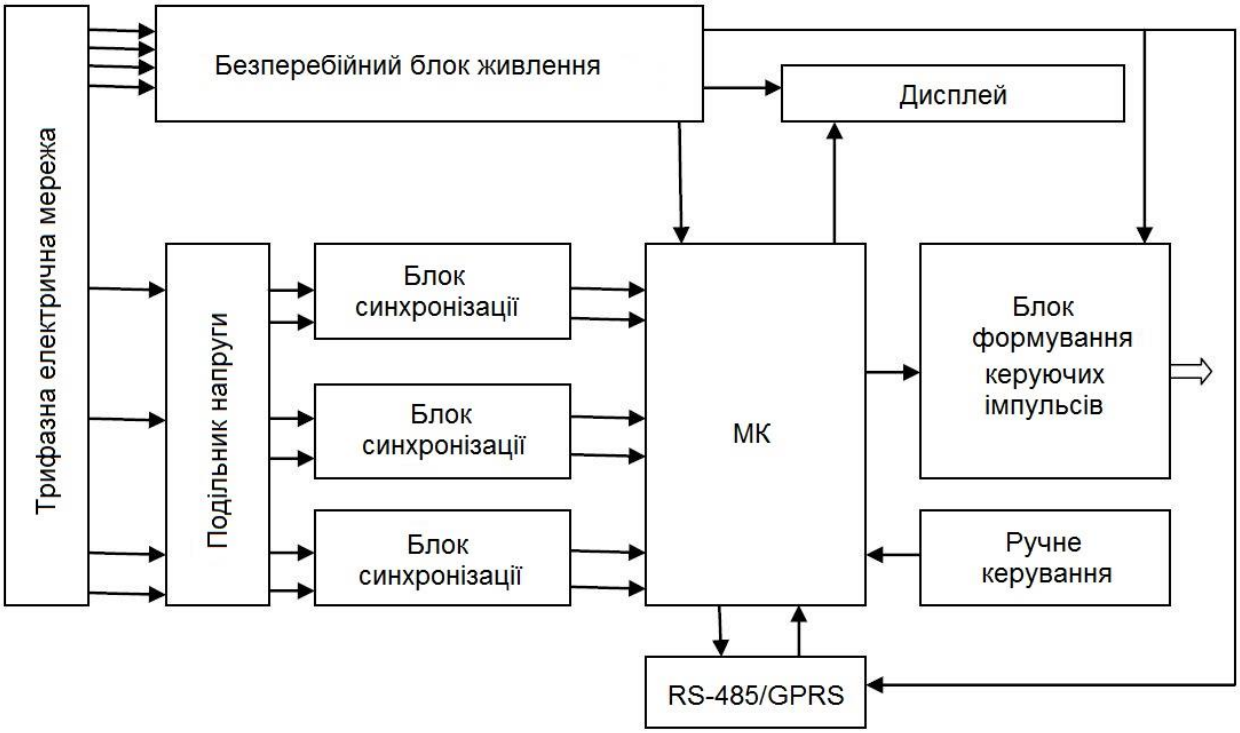


Рис. 1 Принципова схема пристрою

Для забезпечення синхронізації мікроконтролера і достовірності виміряної напруги при трифазній мережевій напрузі необхідно вивикористовувати три зовнішніх переривання мікроконтролера (МК). Обробники зовнішніх переривань повинні містити в собі підпрограми і функції визначення частоти електромережі. Розрахунок частоти доцільно проводити на основі значення рахункового регістра 16-ти розрядного таймера-лічильника. Для цього при кожному виклику обробника зовнішнього переривання необхідно зчитати значення, яке міститься в рахунковому регістрі таймера. Дане значення, при частоті тактового генератора мікроконтролера 16 МГц відповідає кроку вимірювання частоти $25 \cdot 10^{-6}$ Гц. При розрахунку частоти використовується розподіл цілочисельних двобайтових значень з відкиданням залишку. Зважаючи на особливості роботи апаратного подільника МК, розрахунок значень частоти у вигляді двобайтових змінних дозволить значно підвищити швидкість обчислення в порівнянні з використанням чисел з плаваючою комою [2].

Для корекції моментів часу вимірювання напруги на піку синусоїдального сигналу, необхідно провести перерахунок значення, яке буде заноситься в регістр порівняння таймера-лічильника і викличе переривання, що запускає процес вимірювання напруги. Розрахунок даного значення необхідно виконати на основі розрахованого значення частоти струму.

При обробці переривання необхідно перевірити відповідність параметрів

електромережі, отриманих в процесі вимірювань і розрахунків на допустимість значень, шляхом їх порівняння з заданими граничними значеннями, відповідно при виході параметрів із заданого інтервалу необхідно подати керуючий сигнал на відключення вимикача.

Очікуваним результатом впровадження розробки в електричні мережі і енергосистеми є:

- зниження ризику розвитку електроенергетичних аварій;
- підвищення надійності електропостачання;
- автоматизація процесу протиаварійного керування і моніторингу стану параметрів електричної мережі.

Блок має можливість вимірювання струмів як з використанням вимірювальних трансформаторів струму, так і з використанням стандартних датчиків струму на основі ефекту Холла.

Запропонований варіант інтелектуального пристрою для аварійних режимів електроенергетичних систем дозволить знизити обсяг і тривалість аварійних відключень при виникненні дефіциту активної потужності і перевантаження електричних зв'язків.

Література

1. Наказ «Про затвердження Правил застосування системної протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження або підвищення частоти в енергосистемах» [Електронний ресурс] /Режим доступу: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1177-03.

2. Филипович А.И. Устройство защиты от опасных напряжений в трёхфазной электросети «SOKOL UZP-3F» // Официальный сайт А.И. Филиповича. Разработка электронных устройств.
URL http://www.servissistemy.com/4.htm.

УДК 621.311

Олег Буняк, к.т.н, доц., Тетяна Концограда
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СПОЖИВАЧІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНІ ТАРИФИ НА ВИРІВНЮВАННЯ ДОБОВОГО ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Проаналізовано участь споживачів, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи у вирівнюванні добових графіків електричного навантаження енергосистеми.

Ключові слова: диференційований тариф, енергосистема, добовий графік електричного навантаження.

Oleh Buniak, Ph.D., Assoc. Prof.; Tetiana Kontsohrada

ANALYSIS OF INFLUENCE THE CONSUMERS THAT USING DIFFERENTIATED TARIFFS ON LEVELING THE DAILY GRAPH OF ELECTRIC LOADS OF POWER SYSTEM

Participation has been analyzed of consumers that using time-differentiated tariffs in leveling the daily graph of electric loads of power system.

Keywords: differentiated tariff, power system, daily graph of electric loads.

Підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів в електроенергетичному секторі значною мірою залежить від формування та підтримання енергетично ефективних режимів виробництва і передачі електроенергії в енергосистемі. Цього можна досягти шляхом залучення до вирішення цієї проблеми споживачів електроенергії. Такий шлях вирішення зазначеної проблеми на сьогоднішній день слід вважати найменш витратним, найбільш швидким і реальним для української електроенергетики.

В сучасних ринкових умовах щоб залучити споживачів електроенергії до активної участі у регулюванні графіків навантаження енергосистеми необхідне суттєве економічне зацікавлення. Зокрема, одним з основних засобів стимулювання споживачів до перенесення частини потужності, що ними споживається, з періодів максимального навантаження енергосистеми до періодів з мінімальним її навантаженням, що сприяло б вирівнюванню добових графіків електричного навантаження енергосистеми вцілому є диференційовані за часом тарифи на електроенергію. Однак, незважаючи на суттєве збільшення кількості споживачів, що використовують зонні тарифи, а також на помітне зростання обсягів їх електроспоживання, на сьогоднішній час зонні тарифи використовує порівняно невелика частка споживачів, а їх частка у загальному споживанні електроенергії не перевищує 30 % [1].

Використання зонних тарифів у початковий період (протягом 1995 – 2002 років) у значній мірі сприяло зниженню нерівномірності графіків навантаження ОЕС, що, у свою чергу, приводило до полегшення режимів генерації електроенергії, підвищенню її якості та надійності електропостачання споживачів, а також до зниження витрат енергосистеми. Проте, незважаючи на тенденцію збільшення кількості споживачів, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи, а також обсягів їх електроспоживання, протягом минулих 15 років подальшого помітного вирівнювання добових графіків електричного навантаження ОЕС не спостерігється [2].

Переважна частина споживачів електроенергії, що використовують диференційовані за зонами доби тарифи (приблизно 85 %), належить до населення,

тобто велика кількість малих, головним чином побутових споживачів, одинична електрична потужність яких незначна. Тим часом, промисловість що має домінуючу частину (більше 90 %) загальної витрати електроенергії, знаходиться на рівні 4% по використанню диференційованих за зонами доби тарифів [2]. Дана ситуація свідчить про те, що група споживачів промисловості найбільш суттєво впливає на режими споживання електроенергії в ОЕС України, проте частка використання диференційованих тарифів підприємствами все ще є дуже незначною. В загальному, можна стверджувати, що вплив споживачів, що використовують диференційовані тарифи для зниження нерівномірності графіка навантаження енергосистеми протягом доби в цілому є недостатнім.

Отже, використання діючих зонних тарифів не сприяє залученню нових, достатньо потужних споживачів до участі у вирівнюванні добових графіків електричного навантаження енергосистеми, оскільки протягом майже всього періоду їх використання ці тарифи залишались майже незмінними (змінювалась, в основному, тільки середня ціна електроенергії), у той час як у країні відбулися значні зміни в структурі споживання електроенергії, а також в режимах її виробництва. Таким чином, можна стверджувати, що існуючі диференційовані за зонами доби тарифи на електроенергію вже не відповідають сучасним умовам її виробництва та споживання, а також давно вичерпали свої можливості з точки зору ефективного стимулювання споживачів до зміни характеру їх попиту на електричну потужність.

Тому одним із можливих напрямів створення реальних «інструментів» дієвого економічного стимулювання потужних споживачів до участі у вирівнюванні добових графіків навантаження енергосистеми є вдосконалення та подальший розвиток існуючих диференційованих за добовими зонами тарифів на електроенергію. Правомірність такого висновку підтверджується, зокрема, тим, що при існуючому співвідношенні середньої потужності груп споживачів, споживачі що використовують диференційовані тарифи в принципі не здатні компенсувати нерівномірність попиту на електричну потужність всіх інших споживачів [2], які не використовують диференційовані тарифи. Для цього необхідно, щоб сумарне навантаження споживачів з дифтарифами, а, отже, й їх чисельність значно зросла.

Необхідною умовою розвитку існуючих диференційованих за зонами доби тарифів на електроенергію є періодичне здійснення розширеного аналізу результатів їх використання. Також є необхідність спільного підходу до розвитку систем обліку електричної енергії і до формування системи тарифів на енергію, спрямованих на створення реальної можливості управління режимами споживання електроенергії в енергетичній системі.

Література

1. Серебренніков Б.С., Петрова К.Г. Формування динамічних цін на електроенергію залежно від нерівномірності графіку електроспоживання. Енергетика та електрифікація. 2012. № 10. С. 18–23.

2. Находов, В. Ф. Управління режимами споживання та ефективністю використання електричної енергії в енергетичних системах : дис. д-ра техн. наук : 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси / Находов Володимир Федорович. – Київ, 2018. – 432 с.

УДК 628.924

Віталій Бурмака, Микола Тарасенко, д. т. н., проф.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУМІЩЕНОГО ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ СХОДОВИХ КЛІТОК

В результаті досліджень отримано залежності середньої інтенсивності руху мешканців багатоповерхових будинків через дверний проріз першого поверху в фактичних одиницях вимірювання (кількості мешканців за 3-х годинні проміжки часу). Встановлено зв'язок між часовою нерівномірністю транспортних потоків і інтенсивністю руху мешканців багатоповерхових будинків. Доведено, що ефективне використання природного освітлення та систем керування штучного освітлення забезпечить отримання суттєвої економії електричної енергії.

Ключові слова: природне освітлення, сходові клітки, інтенсивність руху мешканців, нерівномірність руху транспорту.

Volodymyr Burmaka, Mykola Tarasenko

ENERGY EFFICIENCY USING OF COMBINED INDOOR LIGHTING FOR STAIR CELLS

As a result of the research was obtained the dependence of the average traffic intensity of the inhabitants of multistory buildings through the first floor doorway, in the actual units of measurements (number of inhabitants by 3-hour intervals). Was established the relationship between temporal uneven traffic flow and traffic of residents of multistory buildings. Proved, that efficient using of natural light and artificial lighting control system would provide economic of electrical energy.

Keywords: stair cells, daylighting, traffic flow of the inhabitants, uneven traffic flow.

Важко переоцінити значення денного світла для всього живого на Землі. Сонце – основа життя, головне джерело енергії, яке набуває все більшого значення в міру виснаження природних запасів енергетичної сировини: нафти, газу, вугілля. У той же час важливість Сонця полягає не тільки в його енергетичній значимості. Його вплив на людину складається з трьох чинників:

– бактерицидної дії: доведено, що за 2-2,5 години ультрафіолетова радіація (УФР) вбиває майже 100% бактерій в чашці Петрі, встановленій під сонячним випромінюванням на підвіконні;

– еритемного впливу: під впливом УФР на шкіру людини, в організмі виробляється вітаміни групи D;

– психологічного впливу: науково доведено, що сонячне випромінювання є найкращім природним антидепресантом.

Саме величезний позитивний вплив Сонця на людину вказує на актуальність світлової інсоляції практично кожного приміщення, де нехай навіть недовгий час, але перебувають люди. Неважливо, чи це офіси, сходові клітки, коридори або будь-які інші приміщення [1].

Освітлення сходових кліток та поверхових коридорів – важливий фактор комфорту та безпеки мешканців багатоквартирних будинків. Впровадження світлодіодних джерел світла та автоматичних систем управління освітленням знижує загальне споживання електроенергії в кілька разів, проте помилки при проектуванні

таких систем можуть призводити до порушення вимог нормативних документів і зниження загальної безпеки мешканців [2].

Впровадження світових шахт і світловодів відкриває нові можливості в планувальних рішеннях, дозволяючи: зводити будівлі більшої корисної площі зі збереженням на всій території комфортного рівня світлового середовища.

Яскравим прикладом енергоефективної забудови цілих мікрорайонів є діагональне проектування малоповерхового будівництва. Житлові та виробничі комплекси при такому способі забудови нагадують фрактальні природні утворення, властивості яких залежить від їх розмірності.

Ще один пріоритетний напрямок розвитку в будівельній галузі – це зведення будівель зі зниженими експлуатаційними витратами. В рамках цього напрямку особливо важливим є завдання зниження витрат на освітлення будівель. Рішення даного завдання забезпечується впровадженням систем природного освітлення коли будинок зведений таким чином, що вдень для освітлення приміщень, включаючи сходові клітки і коридори, максимально використовується сонячні промені. І тільки в разі необхідності (ввечері та вночі), коли в зоні під'їзду або будь-якій іншій зоні всередині приміщення з'являється людина автоматично включається штучне (рис. 1).

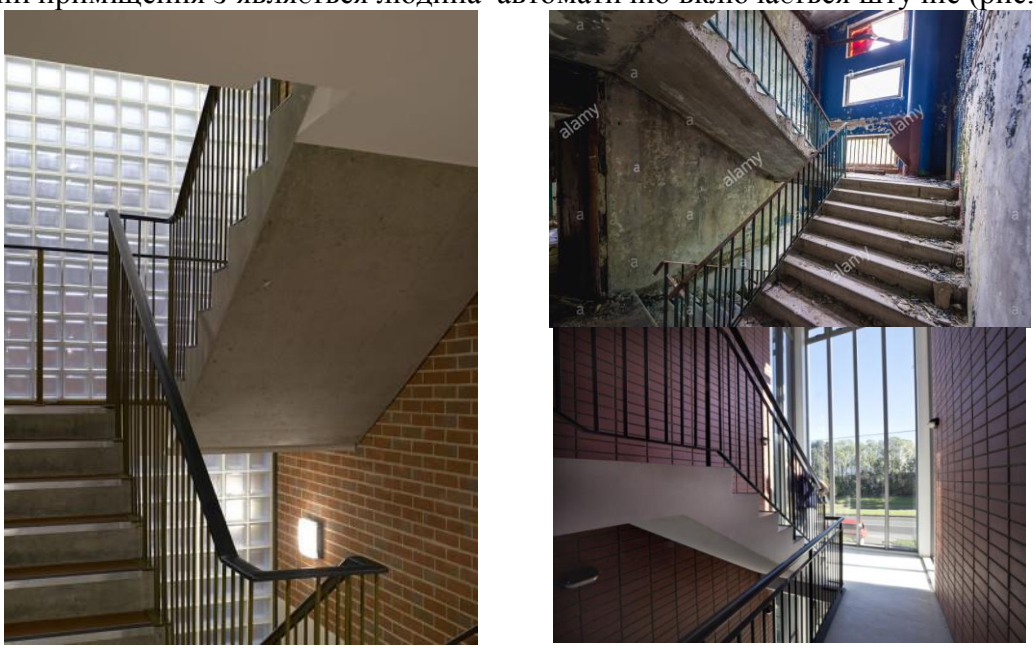


Рис. 1. Приклад природного освітлення сходових кліток

Розробка й оснащення систем штучного освітлення автоматикою, що реагує не тільки на присутність людини, але й на стан погоди і забрудненість світлопрозорих конструкцій однозначно сприяє зниженню витрат на електроенергію при експлуатації будівель [3].

Оскільки природне світло не є величиною сталою, не тільки в плані освітленості, але й в плані тривалості, для обґрунтованого доведення доцільність використання природного та автоматизованого штучного освітлення приміщень різного призначення необхідно скористатися даними ресурсу [4] щодо тривалості дня, ночі та громадянських сутінок. Крім того необхідно знати інтенсивність руху мешканців будинку через дверний проріз першого поверху.

Для цього було проведено дослідження щодо визначення середньої інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху у фактичних одиницях вимірювання (кількість мешканців за 3-х годинні проміжки часу).

Заміри проводились протягом року в наступні проміжки часу: з 7:до 10; з 10 до 13; з 13 до 16:00; з 16 до 19; з 19 до 22;та з 22 до 7 год. Отримані дані в межах вказаних проміжках часу були усередненні й побудовані відповідні графічні залежності (рис. 2).

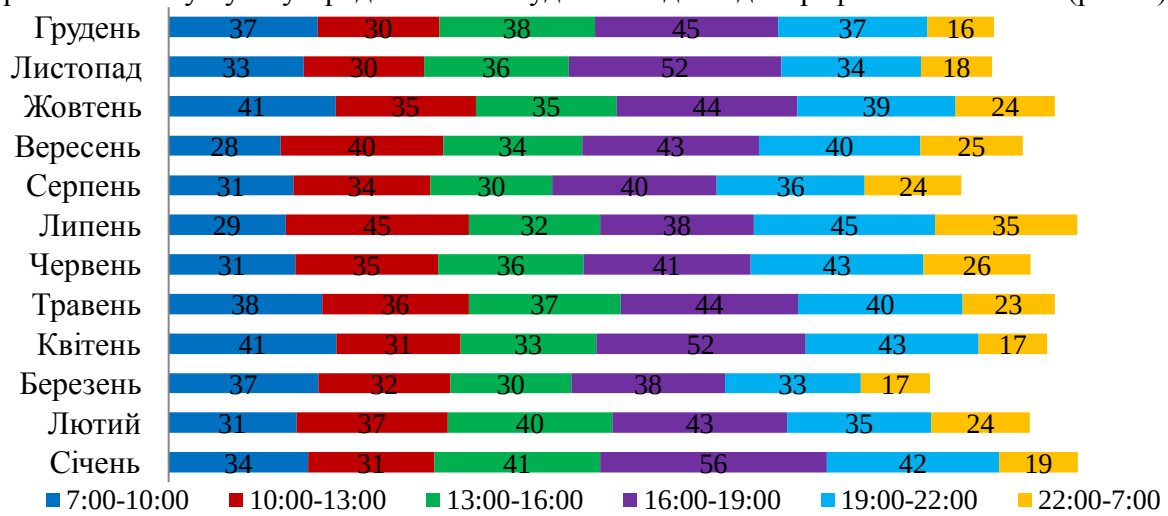


Рис. 2. Залежності середньої інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху в межах 3-годинних проміжків часу, починаючи з 7 години ранку і з 22:00 по 07:00 годину.

Результати підрахунків середньої добової інтенсивності руху мешканців будинків через дверний проріз у межах вказаних часових проміжків (див. рис. 2) зведено в табл. 1. З табл. 1 випливає, що найбільша інтенсивність руху спостерігається в межах від 16 до 19 год. Найменша – з 22 ночі до 7 год. ранку. Це вказує на доцільність впровадження автоматизованого управління моментами включення/виключення світла на сходових клітках в нічний час.

Таблиця 1

Помісячна та річна інтенсивність руху мешканців будинків через дверний проріз*

Середня добова інтенсивність руху мешканців через дверний проріз, раз/добу			
Січень	223	Липень	224
Лютий	210	Серпень	195
Березень	187	Вересень	210
Квітень	217	Жовтень	218
Травень	218	Листопад	203
Червень	212	Грудень	203

*Дані отримані для окремих під'їздів 9-ти поверхових будинків з 77 мешканцями

Середня річна інтенсивність руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху в межах 3-годинних проміжків часу має вигляд рис. 3.

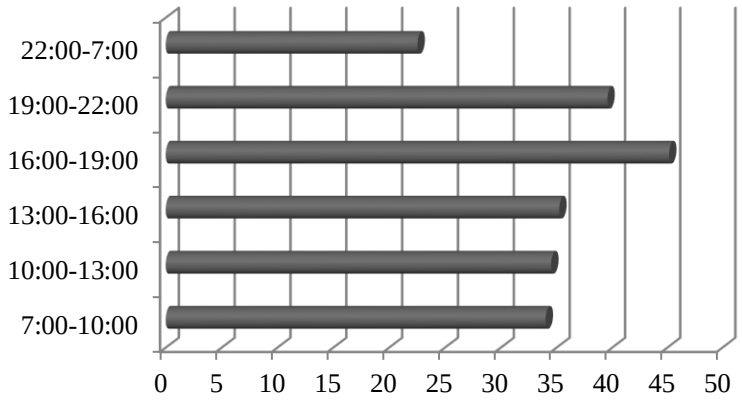


Рис. 3. Середня річна інтенсивність руху мешканців через дверний проріз першого поверху для обраних часових проміжків протягом доби

При розрахунку освітлення доріг, для оцінки тривалості його використання використовується коефіцієнта нерівномірності руху транспорту. Згідно з ДБН В.2.5-28, для обраних часових проміжків він змінюється відповідно до рис. 4, а. Для даного випадку коефіцієнт нерівномірності руху мешканців будинку змінюється відповідно до рис. 4, б.

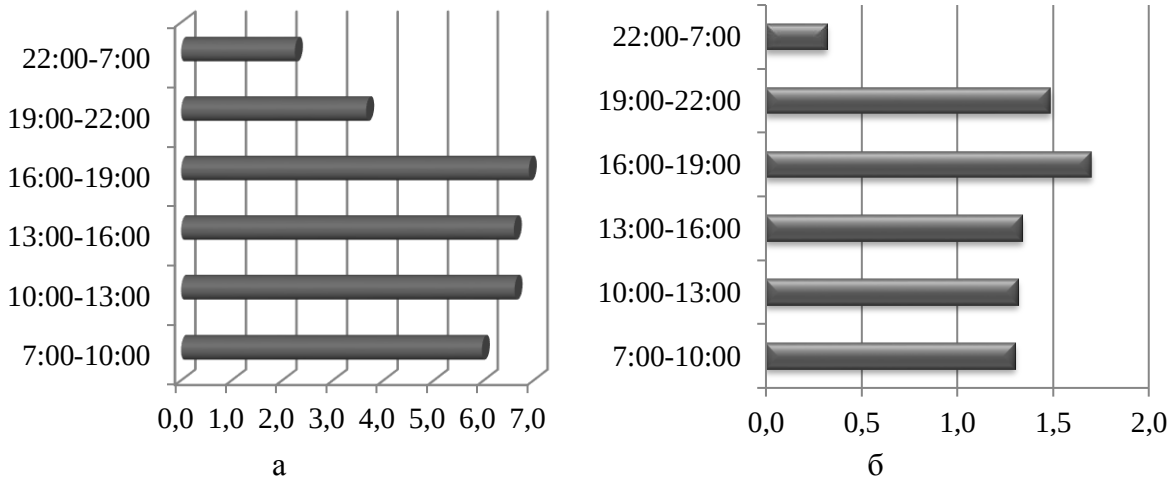


Рис. 4. Залежності: а) коефіцієнта нерівномірності руху транспорту; б) коефіцієнта нерівномірності руху мешканців будинку для різних часових проміжків протягом доби

Порівняння графічних представлень середніх інтенсивностей руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху (рис. 4, б) та коефіцієнту нерівномірності руху транспорту для різних часових проміжків протягом доби рис. 4, а свідчить про те, що вони подібні за динамікою, проте не ідентичні за пропорціями.

Висновки

Встановлено, що грамотне використання природного світла та систем керування штучним освітленням здатні забезпечити отримання суттєвої економії електричної енергії.

Доведено, що усереднені інтенсивності руху мешканців 9-ти поверхових будинків через дверний проріз першого поверху подібні коефіцієнту нерівномірності руху транспорту не тільки в межах 3-годинних проміжків часу, але й з 22:00 по 07:00 годину ранку.

Література

1. ALLUX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://svetovod.info. – Значение световой инсоляции в освещении эвакуационных путей и лестничных клеток.

2. INVENTRADE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://inventrade.ru. – Освещение подъездов и лестничных клеток.

3. SOLAWAY [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.solaway.ucoz.ru. – Световоды и световые шахты как прорыв в естественном освещении в контексте актуальности энерго- и ресурсосбережения.

4. 365.wiki [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ua.365.wiki. – Сонячний календар на 2019 рік, Тернопіль, Україна.

УДК 631.311

Олександр Вакуленко, Петро Оліярник, Андрій Бартків
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Розглянута проблема оцінювання надійності пристроїв релейного захисту. Доведено, що при виборі мікропроцесорних пристроїв для кіл дії струмів короткого замикання необхідно проводити додаткові обчислення надійності як окремих вузлів, так і пристроїв в цілому, а також враховувати інтенсивність їх роботи у цих колах.

Ключові слова: надійність, релейний захист, мікропроцесорні пристрої, ймовірність відмов.

Oleksandr Vakulenko, Petro Olijarnyk, Andrij Bartkiv

ANALYSIS OF THE RELAY PROTECTION SCHEMES RELIABILITY IN HIGH VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS

The problem of estimating the relay protection devices reliability is considered. It is proved that when choosing microprocessor devices for the circuits of short-circuit currents it is necessary to carry out additional calculations of reliability as separate nodes and devices in general, and also to take into account the intensity of their work in these circles.

Keywords: reliability, relay protection, microprocessor devices, probability of failures.

Відомо [1], що до 30% важких аварій у електроенергетичних системах (ЕЕС) є наслідком неправильних дій релейного захисту та протиаварійної автоматики. В (50 ... 70)% випадків вони призводять до розвитку аварійних ситуацій в тяжкі системні аварії. Крім того, приблизно (30 ... 40)% неправильних дій пов'язані з несправністю самих пристроїв та схем релейного захисту: помилки в апаратній частині, логічній частині або в алгоритмах.

Таким чином, кількісне оцінювання надійності релейного захисту в ЕЕС та її підсистемах представляє собою актуальну задачу. Особливо актуальною вона є для схем релейного захисту, в яких використовуються мікропроцесорні пристрої релейного захисту (МПРЗ), які, згідно зі статистичними даними [1], мають нижчу експлуатаційну надійність за схеми з електромеханічними реле.

За даними [1] 75% всіх ушкоджень мікропроцесорних пристроїв відбувається через вплив перенапруги з амплітудою від десятків вольт до декількох кіловольт, що виникають внаслідок комутаційних процесів у колах коротких замикань або при впливі електростатичних розрядів. Досліджено, що реле захисту на електронних елементах мають утроє більшу пошкоджуваність, ніж електромеханічні, а мікропроцесорні - в 50 разів. Крім того, на відміну від звичайних мікросхем, відмовою мікропроцесора є не тільки його фізичне ушкодження, але також і збої в програмному забезпеченні, що зумовлює необхідність періодичного відновлення версій програм МПРЗ [1].

Перераховані чинники підтверджують актуальність та важливість задачі кількісного оцінювання надійності пристроїв та схем релейного захисту, в першу чергу МПРЗ. Проаналізувавши існуючі показники надійності, для подальшого дослідження обрано ймовірність відмови у спрацюванні пристрою релейного захисту на інтервалі часу $Q(\Delta t)$.

Аналіз методів оцінювання надійності пристроїв релейного захисту показав, що для кількісного визначення ймовірності $Q(\Delta t)$ найбільше підходить метод «дерева відмов» [2], який дозволяє визначити шукану величину $Q(\Delta t)$ як функцію від показників

надійності елементів, що складають схему релейного захисту, як на електромеханічній, так і на мікропроцесорній базі. Також цей метод є адаптивним до врахування технічного стану конкретних пристроїв релейного захисту при використанні нечітко–статистичного підходу при оцінюванні ризику виникнення аварії в ЕЕС.

Для визначення ймовірності знаходження схеми релейного захисту в непрацездатному стані на інтервалі часу $\Delta t = t_2 - t_1$ необхідно визначити ймовірності відмови захисту в моменти часу t_1 і t_2. Вони визначаються за ланцюгом відмов пристрою релейного захисту: $Q(t) = 1 - P_1(t) \cdot ... \cdot P_i(t) \cdot ... \cdot P_m(t)$, де $P_i(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи в момент часу *t i*-тої ланки ланцюга з *m* відмов об'єкта. Оскільки ланки у ланцюгу з'єднані послідовно, ймовірність безвідмовної роботи ланцюга визначається як добуток ймовірностей безвідмовної роботи всіх ланок.

В свою чергу, ймовірність безвідмовної роботи кожної ланки $P_i(t)$ визначається як сума ймовірностей сумісних подій, так як кожна ланка представляє собою паралельне з'єднання елементів релейного захисту, одночасна відмова яких призводить до непрацездатності всього захисту. В загальному випадку для *i*-тої ланки з *n* паралельних елементів ймовірність безвідмовної роботи складає: $P_i(t) = \sum_{j=1}^{n} P_{W_j}(t) - \sum_{j,k=1}^{n} P_{W_j}(t) \cdot P_{W_k}(t) + \sum_{j,k,l=1}^{n} P_{W_j}(t) \cdot P_{W_k}(t) \cdot P_{W_j}(t) - ...$, де $P_{W_j}(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи елементів релейного захисту $W_{j,k,l}$, $j,k,l \in W$ та W - множина елементів, з яких складається схема захисту.

Ймовірності безвідмовної роботи елементів релейного захисту визначаються одним з таких способів:

1) за експоненційним законом розподілу ймовірності відмови об'єкта за незмінних параметрів потоку відмов $\omega_j = const,\ j \in W$ відповідних елементів $P_{W_j}(t) = \exp(-\omega_j \cdot t)$;

2) за статистичними інтегральними функціями розподілу ймовірності відмов елементів релейного захисту кожного типу $F_j(t)$: $P_{W_j}(t) = 1 - F_j(t)$;

3) за статистичними інтегральними функціями розподілу ймовірності відмов, модифікованими з урахуванням фактичного технічного стану кожного окремого елементу захисту $F_j^M(t)$: $P_{W_j}(t) = 1 - F_j^M(t)$.

Кожен із запропонованих способів має свої переваги та недоліки. Проте, модифіковані функції $F_j^M(t)$ дозволяють отримати найбільш точну кількісну оцінку ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента і, як наслідок, всієї схеми релейного захисту, але їх використання вимагає наявності адекватних моделей стану окремих пристроїв та реле, що ускладнене внаслідок їхньої великої різноманітності.

Після визначення ймовірностей відмови розглядуваної схеми релейного захисту в моменти часу t_1 і t_2 визначають ймовірність відмови схеми релейного захисту на інтервалі часу. Якщо відомо, що в деякий момент часу схема релейного захисту була працездатною, то ймовірність її відмови на інтервалі часу Δt визначається як: $Q(\Delta t) = [Q(t_2) - Q(t_1)] / [1 - Q(t_1)]$.

Отримана ймовірність відмови є кількісною характеристикою надійності схеми релейного захисту на інтервалі часу і може бути використана в задачах оцінювання ризику виникнення аварії в ЕЕС та подальшого прийняття рішень щодо зниження його величини.

Так [2], на Дніпровській ГЕС-1 у 2009—2010 роках була проведена заміна комірок КРП-6 кВ мережі власних потреб з електромеханічними захистами на сучасні комірки, оснащені мікропроцесорними терміналами типу MICOM P139 (струмові реле) та MICOM P922 (реле напруги) фірми AREVA T&D. Приєднання мережі 6 кВ захищались такими захистами:

- максимальний струмовий захист (МСЗ);
- струмова відсічка (СВ).

Після заміни комірок комплект струмових захистів залишився незмінним.

Для отримання кількісної оцінки ймовірності відмови у спрацюванні релейного захисту на інтервалі часу був використаний метод дерева відмов з розкладанням схеми згідно обраного елемента. Слід зазначити, що для різних видів короткого замикання (к.з.), які можуть виникнути у мережі 6 кВ з ізольованою нейтраллю, а саме: трифазного к.з. АВС та двофазних АВ, ВС й СА, вигляд дерева відмов буде різним. Також його структура буде залежати від того, відбулось к.з. на початку лінії, що захищається (зона дії СВ) чи в кінці лінії (зона дії МСЗ). В даному дослідженні оцінювання надійності схем релейного захисту і, як наслідок, побудова дерев відмов була виконана для найтяжчого з можливих пошкоджень - близького трифазного к.з.

За побудованими деревами відмов складаються відповідні ланцюги відмов. Для оцінювання ймовірності знаходження пристрою релейного захисту в непрацездатному стані на інтервалі часу, до прикладу, $\Delta t = 3$ місяці необхідно обрати спосіб визначення ймовірності безвідмовної роботи елементів схеми релейного захисту та провести аналіз наявних даних з відмов електромеханічних струмових реле, реле часу, проміжних реле й мікропроцесорного терміналу.

Параметри потоків відмов елементів, що входять до складу обох схем: електромеханічного РЗ й МПРЗ складають [2]:

- трансформатори струму (ТС) - $\omega_{TC} = 0,0003$ 1/рік ;
- струмові реле (РС) - $\omega_{PC} = 0,0001$ 1/рік ;
- реле часу (РЧ) - $\omega_{PЧ} = 0,0005$ 1/рік ;
- проміжне реле (РП) $\omega_{PП} = 0,0003$ 1/рік;
- мікропроцесорний термінал (МПТ) - $\omega_{МПТ} = 0,001$ 1/рік.

За приведеними параметрами потоків відмов розраховані ймовірності відмов в моменти часу t_1 і t_2 й за проміжок $\Delta t = 3$ місяці електромеханічного РЗ й МПРЗ, відповідно: $Q_{ЕМРЗ}(\Delta t) = 0,000075$ та $Q_{МПРЗ}(\Delta t) = 0,00025$.

На основі проведеного аналізу показано, що насправді надійність окремих типів МПРЗ на даний час на порядок нижча від надійності електромеханічних і електронних реле захисту, виконаних на дискретних елементах.

Для підвищення надійності МПРЗ в них доцільно застосовувати сучасні високопродуктивні, завадостійкі з наднизьким енергоспоживанням 8-ми та 16-ти розрядні однокристальні мікроконтролери, наприклад, фірм SiLabs та Texas Instruments з потужною за складом високочастотною аналоговою і цифровою периферією.

Література

1. Гуревич В. И. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты. Мифы и реальность // Вести в электроэнергетике. – 2008. – № 4. – С. 29-37.

2. Літвінов В.В. Порівняльний аналіз надійності схем релейного захисту з електромеханічними та мікропроцесорними реле / В.В. Літвінов, Я.С. Саченко // Гідроенергетика України. - 2015. - №1-2. - С. 10–17.

УДК 621.316.1

Олександр Вакуленко, Віктор Решетник, Любомир Петренко
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ

Розглянутий досвід побудови розподільних електромереж напругою 20 кВ і особливості функціонування електромереж напругою 10 кВ. Досліджена ефективність кожного з варіантів електромережі середньої напруги. Проведений аналіз ефективності встановлення додаткової розвантажувальної підстанції 110/20 кВ.

Ключові слова: електрична мережа, середній клас напруги, реконструкція, ефективність.

Oleksandr Vakulenko, Viktor Reshetnyk, Lyubomyr Petrenko

RECONSTRUCTION EFFICIENCY ANALYSIS OF THE MIDDLE VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS

The experience of distribution electrical networks constructing rate of 20 kV and the peculiarities of electrical networks functioning rate of 10 kV is considered. The efficiency of each from medium voltage network alternatives is investigated. An analysis of the efficiency additional unloading substation 110/20 kV installation has been carried out.

Keywords: electrical network, voltage middle class, reconstruction, efficiency.

Електроенергетика є базовою галуззю національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою сталого економічного розвитку, забезпечення енергетичної безпеки та енергетичної незалежності. Проте, більш ніж 90% повітряних ліній (ПЛ) напругою 220 кВ і вище та 55% основного устаткування трансформаторних підстанцій (ПС) відпрацювали розрахунковий технічний ресурс (25 років), а 56% ПЛ і 17% ПС експлуатуються понад 40 років. Розподільні електричні мережі (ЕМ) відпрацювали 2–3 терміни нормативної експлуатації. Старіння обладнання ПС, елементів ПЛ призводять до зростання аварійності та технологічних витрат електроенергії на її транспортування, спричиняє підвищену кількість відключень обладнання та його пошкодження. На порядок денний постає питання перспективи розвитку ЕМ й ефективності їх роботи.

На даний час одним з перспективних рішень цієї проблеми з економічної точки зору може бути комплексний підхід до реконфігурації ЕМ середньої напруги 6 (10) кВ з підвищенням номінальної напруги до 20 кВ, створення центрів живлення та прокладання нових ліній передавання цієї напруги із запровадженням якісно нового рівня автоматизації мережі [1].

Промислово розвинені країни Європи, Азії та Америки інтенсивно почали впроваджувати в розподільних ЕМ новий клас середньої напруги 20 кВ, починаючи з середини 70-х років минулого сторіччя.

Переваги ЕМ 20 кВ у порівняні з ЕМ 10 кВ зумовлені основними законами електротехніки: при однакових перерізах проводу пропускна спроможність ЕМ збільшується вдвічі; у 4 рази зменшується падіння напруги при передаванні ЕМ однакової потужності; також у 4 рази зменшуються втрати потужності. Окрім того, за однакової щільності струму для передавання однакової потужності необхідно менший переріз провідника і, відповідно, менші витрати провідникового матеріалу.

У порівнянні з ЕМ напругою 35 кВ ЕМ напругою 20 кВ - це наявність компактного обладнання вітчизняних й закордонних виробників, зокрема, щоглових

ПС зі спрощеною конструкцією трансформатора без розширювального бачка та перемикача без збудження. Використання щоглових комплектних трансформаторних підстанцій дає можливість максимально наблизити їх установку до споживачів зі збереженням охоронної зони 10 кВ.

Для підвищення ефективності функціонування розподільних ЕМ актуальним є не тільки перехід на вищий клас напруги для мереж 6 (10) кВ, але й зміна топології ЕМ способом наближення ПС 20 кВ до споживачів при скороченні фідерів ЕМ напругою 0,4 кВ з суттєвим покращенням системи прийняття рішень керування технологічними процесами, яка пов'язана з поняттям інтелектуалізації міських й сільських розподільних ЕМ на основі сучасних SMART (Self Monitoring, Analysis and Reporting Technology) технологій - самодіагностики, аналізу й звітності.

Слід зазначити, що на хід прийняття рішень щодо реконструкції окремих ЕМ 6 (10) кВ та переведенні їх на номінальну напругу 20 кВ в Україні мають вплив як сприятливі фактори, так і немалі проблеми:

1. Незадовільний стан ЕМ. Згідно з оцінками технічного стану ЕМ залишковий строк експлуатації складає орієнтовно 10–11 років.

2. Неоптимальна конфігурація мереж.

3. Вимоги щодо підвищення якості електропостачання.

4. Світові тенденції щодо енергозбереження та енергоефективності. Витрати електроенергії в мережах інших країн світу орієнтовно вдвічі нижчі, ніж в Україні. Вирішити цю проблему можливо лише шляхом інвестування у розвиток ЕМ, зокрема, у впровадження обладнання рівня напруги 20 кВ, що дозволить підвищити ефективність електропередачі, зменшити операційні витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання без суттєвого збільшення витрат на будівництво таких мереж.

5. Великий обсяг розподільчих електричних мереж в Україні та значний обсяг необхідних капіталовкладень не дозволяє говорити про одночасне переведення всіх ЕМ на новий рівень напруги. Мова може йти про перехідний період, протягом якого існуючі розподільчі мережі 6(10) кВ будуть поступово доповнюватись та замінюватись мережами 20 кВ.

Наразі в Україні розпочато роботу щодо створення відповідної нормативно-технічної бази з проектування та експлуатації ЕМ 20 кВ. Електропередавальними організаціями розпочато роботу щодо впровадження пілотних проектів будівництва в окремих мережах ПС з класом напруги 20 кВ.

Для аналізу техніко-економічних аспектів й ефективності розвитку розподільних ЕМ використана ЕМ у складі: 33 фідери 10(6) кВ та 448 ТП 10(6)/0,4 кВ з сумарною встановленою потужністю трансформаторів 90,495 МВ·А. Сумарна довжина повітряних ЛЕП становить 510,72 км, а довжини 12-ти з них лежать в межах від 20 до 47,9 км. Історично сформована в районі структура ЕМ з напругами 6 кВ і 10 кВ не дозволяє під час експлуатації змінювати її конфігурацію [2].

Аналіз режиму максимальних навантажень діючої ЕМ показав, що функціонування ЕМ 6 кВ та окремих фідерів 10 кВ, які мають значну довжину, є неякісним і значно ускладнює експлуатацію ЕМ й призводить до понаднормативного зростання втрат активної потужності. Спостерігаються перевантаження окремих ділянок ліній та значне зниження рівня напруги на шинах ТП, причому втрати напруги до окремих віддалених ТП досягають 35%, технологічні втрати активної потужності в ЕМ 6 кВ становлять біля 15% від потужності, що надходить в ЕМ, до того ж в структурі втрат активної потужності понад 80% становлять втрати в ЛЕП.

Проведений розрахунок [2] максимального режиму ЕМ за умови переведення існуючих фідерів із напруги 6 кВ на напругу 10 кВ показав, що сумарні втрати активної

потужності в аналізованій ЕМ зменшились на понад 55%. Однак, хоча перевантаження за значеннями струмів фідерів було відсутнє, незадовільні показники якості електричної енергії за напругою спостерігались на особливо протяжних фідерах, де відхилення напруги відносно номінальної становило до 20% із завантаженістю головної ділянки біля 65%.

Розрахунок режиму за умови переведення всієї ЕМ на напругу 20 кВ показав значне покращення як за втратами активної потужності (понад 60%) у порівнянні з режимом 10 кВ, так і за рівнями напруги на шинах споживачів. Однак, на особливо протяжних фідерах втрати напруги становили до 6%, тоді як на шинах ТП решти фідерів втрати напруги не перевищували 3%. Для усунення додаткових втрат й оптимізації структури ЕМ було промодельовано встановлення розвантажувального центру живлення 110/20 кВ, що додатково зменшило сумарні втрати активної потужності в модернізованій ЕМ ще на 25%, тобто на майже 50% у порівняні з оптимізованим режимом 10 кВ [2].

Найбільш ефективним критерієм для техніко-економічне порівняння стратегій розвитку досліджуваних ЕМ на номінальних напругах 10 або 20 кВ є дослідження мінімуму *сумарних дисконтованих витрат*. За умови залучення інвестицій протягом одного року такі витрати оцінюють за формулою: $З_{дс} = B/E + K - Л$, де B - витрати на експлуатацію та обслуговування ЕМ й витрати на покриття втрат електричної енергії; K - капіталовкладення в реконструкцію ЕМ; $Л$ - ліквідна вартість устаткування, що демонтують; E = 0,1 - норма дисконту.

З розрахунку досліджуваної ЕМ випливає, що кращими техніко-економічними показниками (майже 10% дисконтованих витрат) характеризується варіант реконструкції розподільної ЕМ з переведенням живлення на номінальну напругу 20 кВ.

Період повернення капіталу $T_п$ дорівнює року t розрахункового періоду, після якого кумулятивна сума чистих грошових потоків $П_{дс}$ переходить з від'ємної зони в додатну і визначається за виразом: $П_{дс} = \sum_{t=1}^{T_п} П_{ч\,t} / (1+E)^t = 0$, де $П_{ч\,t}$ - чистий прибуток в t-й рік розрахункового періоду.

Результати розрахунку періоду повернення капіталовкладень в реконструйовану ЕМ 20 кВ з урахуванням зростання споживання електроенергії й динаміки зміни кумулятивної суми чистих грошових потоків показують [2], що період повернення капіталовкладень для досліджуваної ЕМ у разі переведення живлення на номінальну напругу 20 кВ складе більше 15 років.

Проведені дослідження і виконані розрахунки показують, що ЕМ з номіналом напруги 6 кВ остаточно вичерпали свій ресурс та не мають перспектив розвитку. Аналіз перспектив розвитку мереж 10 кВ та 20 кВ показує, що у ЕМ 20 кВ, навіть для прогнозованого зростання навантаження, забезпечуються високі техніко-економічні показники щодо втрат напруги в ЛЕП, технологічних втрат активної потужності в ЕМ, а також їх резерву пропускної здатності. Однак, слід враховувати, що період повернення капіталовкладень для ЕМ з переведенням живлення на номінальну напругу 20 кВ може бути доволі значним.

Література

1. Циганенко Б. В. Особливості функціонування розподільних мереж середнього класу напруги та їх переведення на напругу 20 кВ / Б. В. Циганенко, В. В. Кирик // Гідроенергетика України. - 2016. - №3–4. - С. 7–13.

2. Бахор З. М. Техніко–економічні аспекти впровадження електричних мереж напругою 20 кВ / З. М. Бахор, А. Б. Козовий та ін. // Вісник Він. політехн. ін-ту. - 2018. - №1. - С. 53–58.

УДК 621.316.9

Євген Гончаров, к.т.н., доц.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ОБМЕЖУВАЧА СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

Розглянуто конструкція, принципи роботи електромагнітного обмежувача струму короткого замикання індуктивного типу. Проаналізовано особливості роботи електромагнітного обмежувача струму короткого замикання у номінальному режимі та короткого замикання.

Ключові слова: обмежувач струму короткого замикання, індуктивність, магнітне поле, магнітопровід.

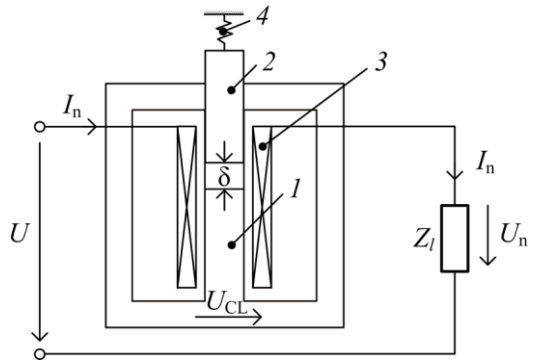
Evgen Goncharov

OPERATION FEATURES OF ELECTROMAGNETIC SHORT-CIRCUIT CURRENT LIMITER

The design, operation principles of electromagnetic short-circuit current limiter of inductive type are considered. The peculiarities of the operation of electromagnetic short-circuit current limiter in the nominal and short-circuit mode are analyzed.

Keywords: short-circuit current limiter, inductance, magnetic field, ferromagnetic core.

The electric power industry increases the power consumption, therefore, it is characterized by an increase in the generation of electricity, which is the cause of the emergence of ultrahigh voltage classes, the development and creation of new energy complexes of high power. Various devices, including such as fuses, switches, relays, current limiting reactors, and various current limiting devices that limit the current to a certain value, are used to protect electric power and consumers from short-circuit currents. This ensures an increase in the efficiency and lifetime of electrical equipment. In addition, the protection of transmission lines is one of the defining parameters when choosing the equipment of substations [1].



1 – ferromagnetic core;
2 – anchor; 3 – spring;
4 – winding

Fig. 1. Constructive scheme EM SCCL

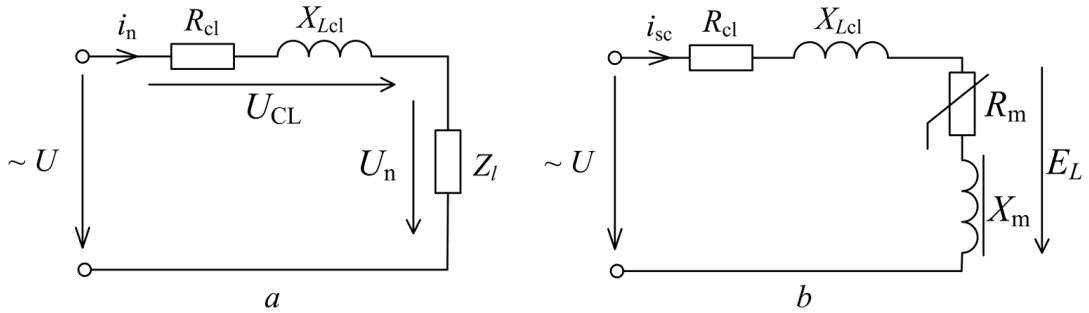
Consider the electromagnetic short-circuit current limiter (EM SCCL) of the inductive type, which is given in Fig. 1. The design scheme of the EM SCCL contains a ferromagnetic

core 1 with an average rode of which is placed winding 3, connected in series up to the load Z_l, with a moving anchor 2 attracted by a spring 4 [2]. It is connected in series with the load and in the nominal mode of operation the load current I_n passes through it, which is determined by the nominal voltage U_n and the full load impedance Z_l (Fig. 2, *a*).

Transient process is distributed: 1. from the initial current i_{n0} to the moment of anchor is attracted to the core of current limiter; 2. from the moment of anchor is attracted to the core to the power supply of electric grid is switched off [3].

Under normal operation, the load current flows through the winding 3 and the load Z_l. Given that the voltage drop across the current limiter does not exceed 3-5% of the u_n, and the nature of the voltage drop is almost inductive, it can be assumed that $i_n = u_n / Z_l$.

In the case of short-circuit, the current for a short time increases sharply, the anchor is attracted to the core and closes the magnetic circuit, the winding inductance increases by an order of magnitude. Thus, at the moment of a sudden short-circuit t_{sc} (Fig. 2, *b*), the initial conditions are as follows: $u_n = U_{nm}\sin(\omega t_{sc} + \psi_u)$; $i_{n0} = I_{nm}\sin(\omega t_{sc} + \psi_u - \varphi_l)$, where $I_{nm} = U_{nm} / Z_l$, ψ_u – initial phase of short-circuit, φ_l – power factor of load.



a – until a short-circuit occurs; *b* – in the event of a short-circuit

Fig. 2. Equivalent scheme of replacing the current limiter in the electric circuit

An increase in the inductance of the current limiter winding, in turn, leads to a change in the time constant and the full resistance of the current limiter.

In the event of short-circuit an electromagnetic current limiter can be represented by an

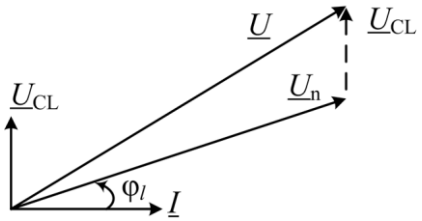


Fig. 3. Vector diagram of the electric circuits with EM SCCL at nominal mode

equivalent substitution circuit (Fig. 2, *b*). Parameters of the circuit of substitution: R_{cl} – active resistance of the winding of the current limiter; X_{Lcl} – inductive resistance to replace the inductive action of the dissipation magnetic flux Φ_d of the current limiter; R_m – active resistance to replace the magnetic losses of power in the steel core of the current limiter; X_m – inductive resistance to replace the inductive action of the main magnetic flux Φ.

Let's consider how the voltage drop U_{CL} on the current limiter reduces the load voltage U_n in relation to the voltage of the electrical network *U*. If we neglect the resistance of the current limiter winding, this reduces the impedance to almost purely inductive. That is, the

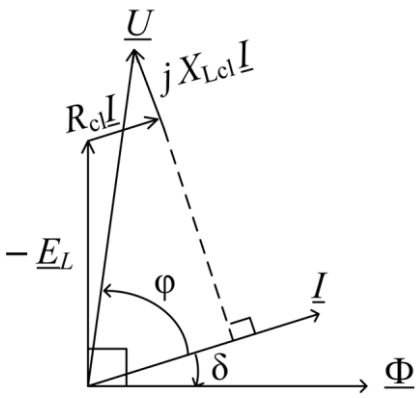


Fig. 4. Vector diagram of the electric circuits with EM SCCL at current limiting mode

$X_{\mathrm{Lcl}} >> R_{\mathrm{cl}}$ voltage on the current limiter $U_{CL} = I\sqrt{R_{\mathrm{cl}}^2 + X_{Lcl}^2}$ outstrips current I by almost 90° (Fig. 3).

From the vector diagram we obtain: $\underline{U} = \underline{U}_{\mathrm{n}} + \underline{U}_{\mathrm{CL}} = \underline{U}_{\mathrm{n}} + k_{\mathrm{cl}}\underline{U}_{\mathrm{n}}$, where k_{cl} – coefficient, which correlates the voltage drop on the current limiter with the load voltage U_{n}.

According to the vector diagram:

$$U_{\mathrm{n}} = \frac{U}{\sqrt{\left(k_{\mathrm{cl}} + \sqrt{1 - \cos\varphi_l^2}\right) + \cos\varphi_l^2}},$$

where $\cos\varphi_l$ – power factor of load.

From the moment of the short-circuit current in the electric grid and the anchor is attracted to the core, due to the hysteresis, the induction and current are shifted to one another at the angle of magnetization δ, and the voltage and current at the angle $\varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$, which is shown on the vector diagram (Fig. 4).

The voltage is spent not only to overcome the self-induction E_{L}, but also to overcome the active resistance of the winding of the current limiter R_{cl} and the inductive X_{Lcl} (from the dissipation magnetic flux) resistance in accordance with the second law of Kirchhoff: $\underline{U} = -\underline{E}_L + R_{\mathrm{cl}}\underline{I} + jX_{\mathrm{Lcl}}\underline{I} = \underline{U}_{\mathrm{n}} + \underline{Z}\,\underline{I}$, where $E = 4{,}44 f w \Phi_m$; R_{cl} – active resistance of the winding; $X_{\mathrm{Lcl}} = \omega L_{\mathrm{cl}}$ – inductive dissipation magnetic flux resistance; $\underline{Z} = R_{\mathrm{cl}} + jX_{\mathrm{Lcl}}$ – complex resistance of the coil of the electromagnetic current limiter.

Thus, at an active load of the electric grid, the voltage drop on the current limiter, at nominal parameters, does not significantly affect the voltage decrease on the load. The voltage on the electromagnetic inductive current limiter should be limited to $0{,}05 \cdot U_{\mathrm{n}}$, which is possible with appropriate design parameters of the current limiter.

References

1. Dan'ko V.G., Goncharov E.V., Polyakov I.V. Analysis of energy efficiency of a superconducting short circuit current limiter. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016, vol.6, no.5(84), pp. 4-12.

2. Goncharov E.V. The electromagnetic inductive short-circuit current limiter Inżynieria i technologia. Nowoczesne badania podstawowe i stosowane, 2016, pp. 41–45.

3. Dan'ko V.G., Goncharov E.V. Features of operation of a superconducting current limiter at the sudden short circuit. Electrical engineering & electromechanics, 2014, no.6, pp. 30-33.

УДК 621.47

Володимир Закордонець, к. ф.-м. н., доц., Наталія Кутузова
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ СВІТЛОДІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ ОХОЛОДЖЕННЯ

Для стабілізації теплового режиму LED запропоновано використовувати термоелектричні модулі охолодження (ТЕМО). Система охолодження працює за рахунок виникнення перепаду температур між гарячою і холодною поверхнями ТЕМО. Отримані аналітичні залежності температури гетеропереходу LED від струму живлення ТЕМО при різних потужностях LED та при різних значеннях теплового опору системи охолодження.

Ключові слова: світлодіод, гетероперехід, тепловий режим, тепловий опір, термостабілізація, термоелектричний модуль охолодження, радіатор.

Volodymyr Zakordonets, Nataliia Kutuzova

THERMAL MODE STABILIZATION OF LED THERMOELECTRIC MODULES OF COOLING

It is proposed to use the thermoelectric cooling modules (TCM) to stabilize the thermal mode of the LED. The cooling system operates due to the temperature difference between the hot and cold surfaces of the TCM. The temperature of the heterojunction of the LED is calculated, depending on its power, the total thermal resistance of the cooling system, the ambient temperature and the cold productivity of TCM.

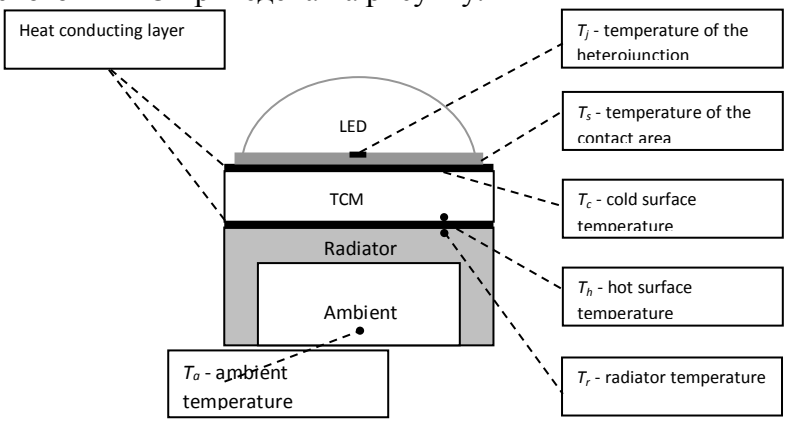
Keywords: LED, heterojunction, thermal regime, thermal resistance, thermalstabilization, thermoelectric modules of cooling, radiator.

Сучасні напівпровідникові джерела світла мають ККД перетворення електричної енергії в світлову близький до 30%. Таким чином, майже 70% підведеної енергії перетворюється в тепло. В умовах збільшення потужності світлодіодів (LED) традиційні системи термостабілізації не завжди справляються із забезпеченням адекватних теплових режимів. Якщо теплову енергію не відводити, то надмірний нагрів LED приведе до деградації світлових характеристик і зменшить його термін експлуатації. Крім того, збільшення температури зменшить яскравість свічення і світловий потік.

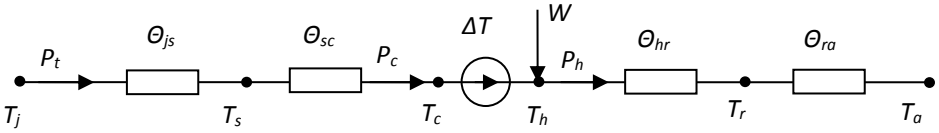
Для підвищення ефективності термостабілізації потужних LED застосовуються активні способи тепловідводу: вентилятори, рідинне охолодження, термоелектричне охолодження та ін.. Термоелектричні системи охолодження мають ряд переваг в порівнянні з іншими системами а саме: високу надійність і відсутність рухомих частин, компактність і невелику вагу, малу інерційність і безшумність роботи. Застосування термоелектричних модулів охолодження (ТЕМО) наділяє тепловідвідну систему функцією охолодження, тобто дає можливість досягти температури гетеропереходу LED нижчої ніж температура навколишнього середовища. Особливо актуальним це стає в умовах, коли температура середовища стає рівною або більшою від температури гетеропереходу LED.

Вважаємо, що теплова потужність LED повністю поглинається холодною поверхнею ТЕМО $P_t = P_c$, а від гарячої поверхні при допомозі радіатора відводиться теплова потужність Ph. Для розрахунку теплового режиму LED скористаємося методом електротеплової аналогії. Схема системи стабілізації теплового режиму світлодіоду

оснащеного ТЕМО приведена на рисунку.



а



б

Рис. 1. Схематичне зображення системи стабілізації теплового режиму світлодіоду з ТЕМО та радіатором (а) та його теплова схема (б). Тут Tj - температура гетеропереходу LED, Ts - температура контактної площадки, Tc і Th - температура холодної і гарячої поверхні ТЕМО відповідно, Tr - температура радіатора, Ta - температура середовища, ΔT – перепад температури між гарячою та холодною поверхнями ТЕМО.

На схемі кожен елемент характеризується своїм тепловим опором. Зокрема, Θjs – тепловий опір між гетеропереходом та контактною площадкою, Θsc = Θhr – теплові опори між контактною площадкою і холодною поверхнею ТЕМО та між гарячою поверхнею ТЕМО і радіатором, Θra – тепловий опір між радіатором та середовищем, ΔT=Th - Tc – перепад температури між гарячою та холодною поверхнями ТЕМО обумовлений ефектом Пельтьє.

Тепловій схемі відповідає рівняння термічної рівноваги:

$$T_j = T_a + P_c \cdot (\Theta_{js} + \Theta_{sc}) + P_h \cdot (\Theta_{hr} + \Theta_{ra}) - \Delta T,$$

Теплова потужність, яка поглинається ТЕМО (холодопродуктивність) визначається співвідношенням:

$$P_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - \kappa \Delta T,$$

а від гарячої поверхні при допомозі радіатора відводиться теплова потужність Ph

$$P_h = \alpha T_h I + \frac{1}{2} I^2 R - \kappa \Delta T,$$

де α- коефіцієнт диференціальної термоЕРС, к – теплопровідність, R – опір напівпровідникового матеріалу віток ТЕМО, Tc і Th температура холодної і гарячої поверхонь ТЕМО, I – струм джерела живлення ТЕМО.

Для температури перегріву гетеропереходу СД отримаємо:

$$\Delta T_j = T_j - T_a = P_c \cdot (\Theta_c + \Theta_h) + (\alpha I \Delta T + I^2 R) \cdot \Theta_h - \Delta T$$

де Θc = Θjs+ Θsc, і Θh = Θhr+ Θra – теплові опори з боку холодної і гарячої поверхонь, Pc теплова потужність СД, α- коефіцієнт диференціальної термоЕРС, к –

теплопровідність, R – опір напівпровідникового матеріалу віток, Tc, і Th температура холодної і гарячої поверхонь, I – струм джерела живлення ТЕМО

$$\Delta T = T_h - T_c = \frac{1}{\kappa} \cdot \left(\alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - P_c \right),$$

перепад температури між гарячою та холодною поверхнями модуля.

Встановлено, що температура гетеропереходу СД визначається його потужністю, тепловим опором охолоджувальної системи, температурою оточуючого середовища та режимом роботи ТЕМО. Керування режимом роботи модуля здійснюється шляхом зміни величини струму живлення. При розробці і експлуатації термоелектричної системи охолодження важливим питанням є вибір оптимального струму при якому відбувається ефективне охолодження.

Показано, що при даній тепловій потужності СД та тепловому опорі системи охолодження існує оптимальна величина струму живлення ТЕМО, при якому температура гетеропереходу СД досягає мінімуму. При струмах близьких до оптимального, термоелектрична система охолодження дозволяє отримувати нижчі значення температури гетеропереходу ніж традиційна. При оптимальному співвідношенні між потужностями ТЕМО та СД термоелектрична система охолодження дозволяє знижувати температуру гетеропереходу СД до температур нижчих, ніж температура навколишнього середовища. Ефективність використання ТЕМО знижується при збільшенні теплової потужності СД і сумарного теплового опору системи охолодження. При аналізі ефективності роботи системи охолодження слід керуватися не лише параметрами ТЕМО, але і параметрами всієї системи охолодження СД в цілому: сумарним тепловим опором системи охолодження, тепловим навантаженням та режимом роботи ТЕМО.

УДК 621.224-225.12; 621.311.2.21

Мирослав Зінь, к.т.н., доц., Юрій Підгайний
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна
Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), Україна

ВИСОКОШВИДКІСНІ ГІДРОТУРБІНИ З ТРЬОМА АБО ДВОМА ЛОПАТЯМИ НА РОБОЧОМУ КОЛЕСІ ДЛЯ НИЗЬКОНАПІРНИХ МІКРОГЕС

У статті запропоновано шляхи вирішення проблеми створення безредукторних гідроагрегатів для низьконапірних мікроГЕС, які оснащені серійними асинхронними електрогенераторами

Ключові слова: мікроГЕС, турбіна, висока швидкохідність, низький напір

Myroslav Zin, Ph.D., Assoc. Prof., Yurii Pidhainyi

HIGH-SPEED HYDRO TURBINES WITH THREE OR TWO BLADES ON THE IMPELLER FOR LOW-PRESSURE MICROHYDROELECTRIC POWER STATIONS

The article suggests ways of solving the problem of the creation of non-gear hydraulic units for low-pressure micro-hydroelectric power stations equipped with serial asynchronous power generators

Keywords: micro-HEP, turbine, high-speed, low pressure

Мала гідроенергетика розвивається швидкими темпами. У випадку правильного проектування вона не наносить жодної шкоди довкіллю [1]. Вводяться в експлуатацію все нові й нові мікро- та мініГЕС. У 2018 році почала працювати Чортківська мініГЕС на р. Серет (горизонтально-осьова турбіна Каплана з подвійним регулюванням виробництва компанії WTW (Польща), діаметр ротора – 1640 мм, кількість лопатей на робочому колесі – 3, корпус турбіни – зварна трубна конструкція типу S, генератор – асинхронний потужності 250 кВт, напір – 2,7 м). У квітні 2019 року введено в дію мікроГЕС потужності 105 кВт (напір брутто – 3 м) на цій самій річці в с. Мишковичі Тернопільського району. Обидві зазначені станції зведені в місцях, де раніше працювали водяні млини. Їх також об'єднує особливо низький напір води (не перевищує 3 метрів) і наявність у складі їхніх гідроагрегатів мультиплікаторів і підвищувальних ремінних передач з різними видами ременів (мультиплікатор – це підвищувальний редуктор). Наявність третього компонента у складі гідроагрегату знижує його надійність, підвищує його вартість і спричинює додаткові втрати енергії. Тому є всі причини для того, щоб проектувати низьконапірні малі ГЕС з прямим з'єднанням валів електричних генераторів і гідротурбін. У цій статті розглянемо шляхи вирішення зазначеної проблеми.

В якості генераторів малих ГЕС застосовують переважно серійні асинхронні машини з синхронними частотами обертання роторів 750, 1000, 1500 і 3000 об/хв. Інколи вдається знайти у продажу серійний асинхронний генератор з частотою обертання валу 600 об/хв.

В якості гідротурбін низьконапірних мікро- і мініГЕС застосовують переважно трубчасті осьові турбіни – пропелерні або поворотнолопатеві. В Україні єдиним виробником таких турбін є ТОВ «Мінігідро» (м. Харків). Це підприємство виготовляє на замовлення чотирилопатеві трубні Г-подібні пропелерні турбіни моделей Т-32, Т-50, Т-65 і Т-90 з діаметрами робочих коліс відповідно 32, 50, 65 і 90 см. Якщо на мікроГЕС напір – до 3 метрів, а витрата води – від 1 м3/с до 4 м3/с, то обійтися без

мультиплікатора або підвищувальної ремінної передачі у складі гідроагрегату, використовуючи представлені на вітчизняному ринку гідротурбіни та серійні електрогенератори, неможливо. Наприклад, найменша турбіна типу Т-32 за напору 3 м має такі характеристики: частота обертання валу – 843 об/хв, витрата води – 0,37 м3/с, потужність на валу – 10 кВт. Турбіна наступного типорозміру Т-50 за цього ж напору 3 м має частоту обертання валу 540 об/хв, витрату води 0,9 м3/с, потужність на валу 24 кВт. Нехай ми маємо асинхронний генератор потрібної потужності з робочою частотою обертання 769 об/хв (коефіцієнт ковзання – 2,5 %). Ми можемо застосувати пряме з'єднання валів турбіни та генератора? Ні, не можемо. У випадку турбіни Т-32 ми повинні використати, наприклад, редуктор з передавальним відношенням 1,1:1, а у випадку турбіни Т-50 – мультиплікатор з передавальним відношенням 1:1,42. І в обох цих випадках витрата води є меншою від потрібної, тобто від 1 м3/с.

Автори цих тез вже володіють певним досвідом проектування робочих коліс гідротурбін для низьконапірних мікроГЕС [2, 3]. Наше поточне завдання – підвищення енергетичної ефективності низьконапірної мікрогідроенергетики шляхом застосування прямого (муфтового) з'єднання гідротурбіни з електрогенератором. Задля його вирішення ми пропонуємо виконати два наступні кроки:

За потреби підвищення швидкохідності гідротурбін замінити чотирилопатеві робочі колеса три- або дволопатевими. Коефіцієнт швидкохідності трилопатевої турбіни у 4/3=1,3333 рази більший, ніж чотирилопатевої. Швидкохідність дволопатевої турбіни перевищує аналогічний показник чотирилопатевої турбіни у 2 рази.

Шляхом підбирання кількості лопатей (4, 3 або 2) і діаметру (з точністю до 1 сантиметра або навіть 1 міліметра) робочого колеса гідротурбіни «підганяти» частоту обертання її валу до робочої частоти обертання валу серійного (і, відповідно, відносно дешевого) електрогенератора (наприклад, 769 об/хв).

Дволопатеві низьконапірні гідротурбіни – це наше ноу-хау. За частот обертання не більше 700÷800 об/хв вони повинні забезпечувати достатню кавітаційну стійкість. Дволопатеві робочі колеса гідротурбін досить легко балансувати (з урахуванням того, що в зазначених колесах застосовуються відносно високі значення густин ґраток l/t).

Трилопатеві гідротурбіни у вітчизняному гідротурбобудуванні, на жаль, також не представлені. За кордоном їх випускають спеціалізовані підприємства під різними торгівельними марками, однак їхні очевидні переваги – наприклад, висока швидкохідність, не афішуються і дуже часто взагалі нівелюються.

Література

1. Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Екологічні проблеми подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні / Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, 28–29 листопада 2018 р.) – Т.3. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – С. 29, 30.

2. Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Особливості проектування осьових робочих коліс для трубних гідротурбін / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 55-річчю заснування ТНТУ та 170-річчю з дня народження Івана Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – С. 182, 183.

3. Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Робоче колесо для пропелерної гідротурбіни / Матеріали XIX Наукової конференції Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С. 164, 165.

УДК 697.1

Віктор Кислюк, Іван Козак, Андрій Галінський, Микола Тарасенко, д.т.н., проф.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ РІШЕНЬ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ

В результаті узагальненого аналізу світового і вітчизняного досвіду проектування і будівництва житлових будинків показано суттєвий вплив геометричних та композиційних рішень на показники енергоефективності досліджуваних житлових будинків.

Ключові слова: житловий будинок, енергоефективність будівель, теплові втрати будівель, геометричні рішення, композиційні рішення, зовнішні будівельні конструкції, зблоковані об'єкти.

Viktor Kysliuk; Ivan Kozak; Andrii Halinskyi; Mykola Tarasenko, Dr., prof.

INFLUENCE OF GEOMETRICAL AND COMPOSITIONAL SOLUTIONS ON THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

In a result of the generalized analysis of world and native experience in design and construction of residential buildings, the significant influence of geometrical and compositional solutions on energy efficiency indicators of the studied buildings is shown.

Keywords: residential buildings, energy efficiency, heat losses of the building, geometrical solutions, compositional solutions, semi-detached building.

Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду проектування енергоефективних житлових будинків показав що суттєвий вплив на показник енергоефективності будинку мають геометричні та композиційні рішення та орієнтація, зокрема це композиційні (площа забудови, площа та функціональне призначення приміщень, площа фасаду, розміри, площа, кількість, тип та орієнтація вікон та дверей), геометричні (ширина, довжина, компактність, конфігурація, форма плану будинку та приміщень), орієнтація (кварталу, вулиць, будинку, квартир, приміщень).

Отже геометричні і композиційні рішення можуть знизити тепловтрати будівель і тим самим зменшити потребу в паливі та енергії на опалення. Одним з найважливіших факторів, що впливають на тепловтрати, є площі зовнішніх і внутрішніх будівельних конструкцій, через які відбуваються втрати тепла. Чим більша площа цих конструкцій, тим більші і тепловтрати. У будь-якому разі їх значення залежить від геометричного і композиційного рішення будівлі.

Тепловтрати будівель залежать також від площі внутрішніх огороджень, які відокремлюють опалювані приміщення від неопалюваних або мають більш низьку температуру повітря, ніж температура в розглянутому приміщенні. З цього випливає, що можна отримати менші тепловтрати при правильному композиційному рішенні будівлі, особливо при комбінуванні опалюваних і неопалюваних об'ємів. У цьому випадку діє правило: опалювані об'єми повинні межувати один з одним, тобто рішення вважається невигідним, якщо чергуються опалювані і неопалювані об'єми.

Площу зовнішніх будівельних конструкцій можна зменшити також за рахунок відмови від будівництва окремих об'єктів, вдаючись до їх блокування в одну будівлю.

Зміну площі зовнішнього огородження для зблокованих об'єктів порівняно з площею огороджень окремих об'єктів показано на рис. 1 (крива 1). Найбільше зменшення площі зовнішнього огородження може досягти 33%.

Видно, що найбільший ефект досягається при блокуванні двох об'єктів (17%).

Ефект поступово зменшується: при приєднанні третього об'єкта це вже 5% (всього 22%), четвертого – 3% (всього 25%) і т. д.

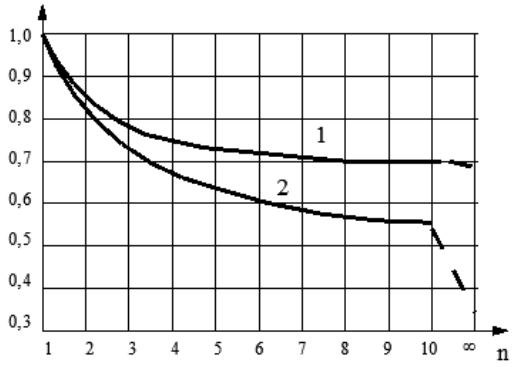


Рис. 1. Зменшення площі зовнішнього огородження зблокованих об'єктів:

1 – об'єкти зблоковані по горизонталі; 2 – об'єкти зблоковані по горизонталі і по вертикалі

Оскільки найбільший ефект може бути 33%, то випливає, що блокування об'єктів в кількості більше 5–6 не призводить до значного зменшення площі зовнішнього огородження.

Зміна площі зовнішнього огородження в зблокованих таким чином об'єктах відносно площі окремих об'єктів показано на рис.1, крива 2. У цьому випадку досягається ще більш значний ефект, ніж при блокуванні об'єктів по горизонталі. З порівняння кривих 1 і 2 видно, що найвигіднішим рішенням є блокування чотирьох об'єктів один за одним (по горизонталі) і один над одним (по вертикалі) порівняно з блокуванням об'єктів по горизонталі. У першому випадку зменшення площі відносно площі окремих об'єктів 0,667 (тобто близько 33%), у другому випадку – 0,75 (тобто 25%).

Теплові втрати також залежать від висоти будівлі (кількості поверхів). Коли мова йде про площу зовнішнього огородження, то в цьому випадку дійсною є залежність, показана на рис. 1 (крива 1), тобто площа зовнішнього огородження зменшується зі збільшенням кількості об'ємів, розташованих один над одним. Однак при збільшенні висоти будівлі зростають тепловтрати на нагрівання інфільтруючого повітря. Сумарні тепловтрати мають різні тенденції зміни залежно від висоти будівлі. Наприклад, для звичайних панельних будинків тепловтрати від 4-го до 8-го надземних поверхів знижуються на 3–4% порівняно з 1–3 поверхами; збільшення кількості поверхів від 8 до 16 призводить до збільшення теплових втрат на 10% порівняно з 1–3 поверхами.

Визначення показників енергоефективності житлових будинків в залежності від геометрично-композиційних рішень дає змогу встановити кількість додаткових конструктивних та інженерно-технічних заходів для приведення енергоефективності будинку до необхідного класу. За діючими нормами клас енергоефективності нових та реконструйованих будинків повинен бути не нижчим ніж «С». Для досягнення кращого результату при проектуванні енергоефективного житла бажано застосовувати інтегрований підхід архітектурно-планувально-конструктивно-інженерний підхід і, враховуючи вплив конструктивних та геометрично-композиційних рішень.

Література

1. Дудар І. Н. Енергозбереження в міському будівництві: навчальний посібник Ч1 / І. Н. Дудар, Л. В. Кучеренко, В. В. Швець. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 56 с.

УДК 621.321

Коваль Вадим, к.т.н., доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СУМІЩЕНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІД ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Проаналізовано можливості енергоефективного генерування енергії від декількох одночасно працюючих енергоустановок на основі поновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: поновлювальні джерела енергії, суміщене електропостачання.

Koval Vadym

COMBINED ELECTRICITY FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

The possibilities of energy-efficient power generation from several co-operating power plants on the basis of renewable energy sources are analyzed.

Keywords: renewable energy, combined power supply.

В даний час, поряд з традиційними джерелами енергії, використовують так звані нетрадиційні поновлювані джерела енергії. Особливо це актуально в екологічно чистих районах, де не можливе застосування традиційних джерел енергії, оскільки вони мають негативний вплив на навколишнє середовище, а так само на віддалених об'єктах, де застосування традиційних джерел енергії недоцільно економічно або з інших причин.

Основним недоліком використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії є їх непостійність у часі. Так енергію від сонячного випромінювання, без акумулювання, можна використовувати лише у світлу пору доби. У свою чергу енергія вітру безпосередньо залежить від його швидкості, яка непостійна у часі та може динамічно змінюватися у широких межах.

З метою надійного електропостачання, слід використовувати одночасно декілька поновлювальних джерел енергії із резервуванням від дизель(бензо)генератора чи електромережі. На даний час, зазвичай, при одночасному використанні фотоелектричних панелей та вітрогенератора використовують у схемі електропостачання два спеціалізованих контролера для кожної енергоустановки, заряджають акумуляторні батареї. Останні акумулюють електроенергію та «узгоджують» роботу двох джерел.

З метою більш ефективного відбору енергії від декількох одночасно працюючих енергоустановок пропонується використати систему контролю та узгодження роботи усіх складових схеми електропостачання. Основні задачі якої повинні бути наступні:

1. Відбирати енергію від фотоелектричної панелі у точці максимальної потужності (MPPT).
2. Відбирати енергію від вітрогенератора із максимальною ефективністю.
3. Узгоджувати параметри електроенергії від двох чи більше джерел енергії.
4. Слідкувати за станом акумуляторних батарей та кількістю накопиченої енергії.
5. Контролювати параметри електроенергії змінного струму після інвертора.
6. Слідкувати за величиною навантаження.
7. Підключати резервне джерело живлення при потребі.
8. При надлишковій кількості генерованої електроенергії використовувати її на користе навантаження, наприклад електричний водонагрівальний ТЕН бойлера.

УДК 621.321

Катерина Козак к.т.н., доц.; Богдан Леуш
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНО-ВІТРОВИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ

Проаналізовано сонячно-вітрові енергоустановки та ефективність їхнього застосування.

Ключові слова: відновлювальна енергія, сонце, вітер,SolarMill, енергоустановка гібридна.

Katerina Kozak, Leush Bohdan

ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF SOLAR AND WIND POWER PLANT FOR ELECTRICITY SUPPLY OF ENTERPRISES

Solar-wind power plants and their efficiency are analyzed.

Keywords: renewable energy, sun, wind, SolarMill, power plant, hybrid .

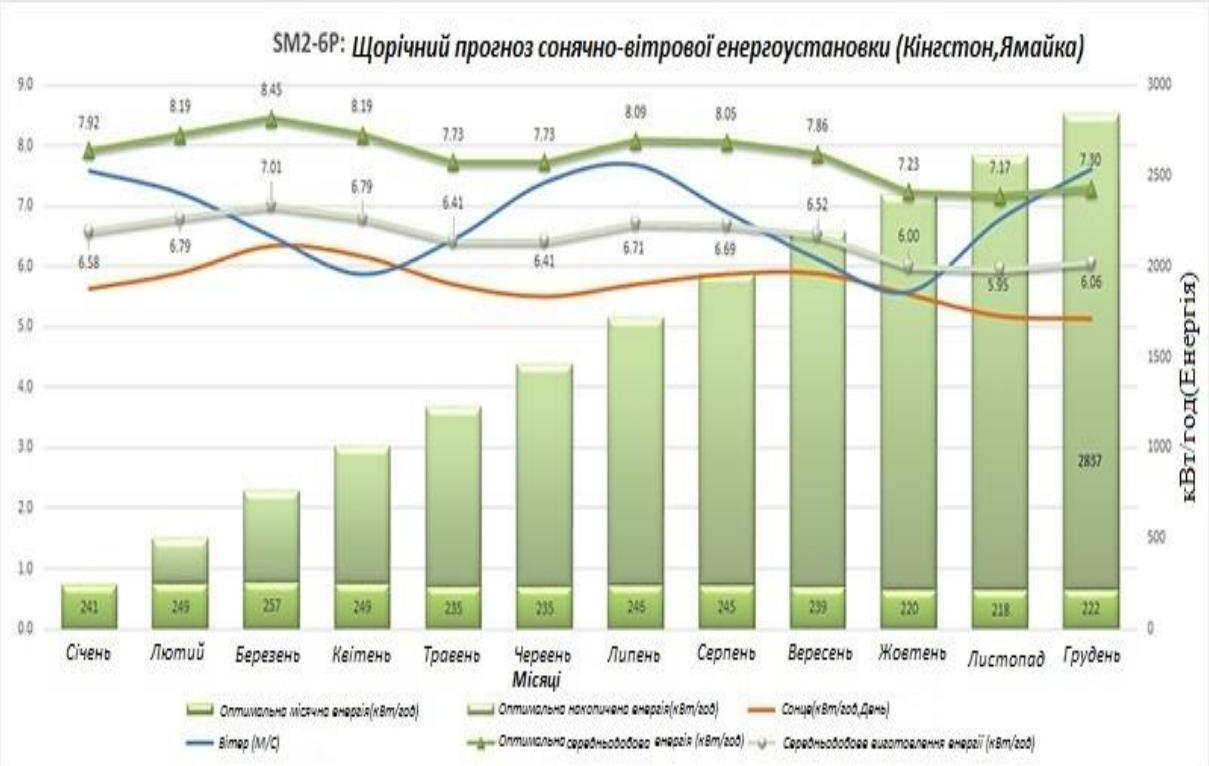
В сучасному світі відновлювальна енергія є безпечною альтернативою серед інших джерел енергії. У час постійних викидів шкідливих речовин в атмосферу, що виробляють електростанції, створені на спалюванні вугілля і схожих речовин, тому відсутні інші варіанти вибору, ніж розвивати поновлювальні джерела енергії. Використання нетрадиційних джерел енергії дає нам можливість поліпшити екологічне становище в регіонах, замінити і заощадити нестачу пального, вирішити певні проблеми в сільській місцевості, на якій немає централізованого енергопостачання, тощо.

Відновлювальні джерела енергії не так дорогі. Вартість будівництва та експлуатації АЕС разом з його остаточним закриттям (нейтралізації наслідків використання ядерних матеріалів) більше вартує, ніж сума витрат, понесених на будівництво та експлуатацію, що генерується від вітрових генераторів та сонячних батарей.

Вартість установки сонячних ферм та видобутку сонячної енергії до 2050 року знизиться на 71%, а вітрової – на 58%. Таким чином конструювання нових сонячних та вітрових електростанцій стане значно прибутковішою справою, ніж будівництво нових масштабних вугільних і газових заводів. Літій-іонні батареї уже впали в ціні на 80% порівняно з 2010 роком, а їхнє подальше здешевлення дозволить накопичувати електроенергію в непікові періоди і продавати її в систему, коли навантаження найбільше.

Два з найбільш розповсюджених джерел відновлювальної енергії сонячної і вітрової. Поєднання цих двох видів є одним кращих способів використання відновлювальних джерел енергії. Сонце буде виробляти електроенергію цілий день і вітер допоможе впродовж дня, але і продовжуватиме вночі, коли сонячні батареї не виробляють електроенергію. Це робить комбіновану систему чудовим варіантом. А саме тому компанія WindStream Technologies розробила першу у своєму роді, повністю інтегровану енергоустановку «SolarMill». Яка включає в себе 6 вітрових турбін з вертикальною віссю, з фотоелектричною технологією в компактній площі. Ця гібридна концепція «SolarMill» є унікальною, бездоганно генерує вітрову і сонячну енергетику в одне ціле.Це дозволяє цій енергоустановці бути ефективним рішенням на ринках, де з природніх ресурсів переважає тільки сонце або вітер.По-справжньому гібридне рішення компенсує сезонні втрати виробництва електроенергії.Це можна легко

побачити на графіку, що поєднання вітру і сонячної енергії є ідеальним рішенням у відновлювальній енергетиці.



З графіка можна побачити,що зимові місяці з меншим сонячним випромінюванням (коротші дні),призводить до збільшення потужності вітру.Під час весняних місяців наоборот швидкість вітру є нижче,але сонячний потенціал є високим.І навпаки вночі вітри є сильніші,але немає ніякою потужності від сонця.Гібридний підхід забезпечує більш безпечне і рівномірне постачання енергії.

Цю систему ефективно використали в Кінгстоні, Ямайка, на криші будівлі відомої юридичної компанії Myers, Fletcher & Gordon (MFG).Вона є найбільшою в світі гібридною установкою, генерації електроенергії відновлювальних джерел енергії, яка розміщена на криші.Розрахована потужність установки складає 106 000 кВт/год електроенергії в рік.А її повна окупність складає близько 4 років.Протягом розрахованого терміну придатності 25 років система зекономить власнику більше 2 міліонів доларів.Згенерована кожною установка енергія може бути використана для різних потреб,або ж збережена в акумуляторах.Займає місце на криші порівняно з стандартною сонячною панеллю,кожна турбіна має велику щільність енергії на одиницю площі, і цей показник є одним з найбільших на ринку відновлювальної енергетики.

Прийшов час на новий крок. Сонячні електростанції та вітрові генератори стали доступні для масового використання. Сьогодні кожен може мати свою власну енергію, економити та одержувати доходи на продажі надлишків по зеленому тарифу.

Література

1. Мережевий ресурс- https://www.windstream-inc.com/products/product-overview
2. Мережевий ресурс- https://www.windstream-inc.com/resources/why-hybrid

УДК 621.321

Катерина Козак, доц., Віктор Хомишин
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВАЖЛИВІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРАКТИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В СМАРТ МІСТАХ

Проаналізовано сучасні методи та програми впровадження енергетичного менеджмену в різного типу міст та смарт міст.

Ключові слова: енергетичний менеджмент, енергозбереження, смарт місто, інформаційні та комунікаційні технології.

Kateryna Kozak, Victor Homyshyn

THE IMPORTANCE OF ENERGY MANAGEMENT PRACTICES IN SMART CITIES

It has been analyzed modern methods and programs of energy management implementation in different types of cities and smart cities.

Keywords: energy management, energy saving, smart city, information and communication technologies.

The role of energy management has greatly expanded in cities. Around the globe, innovation with integrating information and communication technologies (ICT) with physical infrastructure is a top priority for governments in pursuing smart, green living to improve energy efficiency, protect the environment, improve the quality of life, and bolster economy competitiveness. Cities today faces multifarious challenges, among which energy efficiency of homes and residential dwellings is a key requirement. Achieving it successfully with the help of intelligent sensors and contextual systems would help build smart cities of the future. In a Smart home environment Home Energy Management plays a critical role in finding a suitable and reliable solution to curtail the peak demand and achieve energy conservation [1].

The city is a core aggregation and socialization paradigm for the mankind, where trade, technology, art and culture can help in designing and building the solutions to many core global issues (i.e. economical double dip, fossil energy and other resources exhaustion, environmental climate change and pollution, social pressed by unemployment, poverty and demographic growth, cultural for radical changes in communication in digital life and globalization, biodiversity loss, etc.). We can better face these threats by leveraging our ability to improve the efficiency and re-invent the organization and ICT enabled nervous system of smarter cities, because we know that human population growth cannot be stopped easily and quickly, nor the expectation of a better life, that keep on moving people to bigger towns in search of work and other services [2].

There are many dimensions that describe the scope of a smart city such as: • Integration and interaction of different services and infrastructures, both physical and virtual • Smart utilities grids (not only the distributed electricity and gas grids with bidirectional flow in a distributed generation, that requires real time exchange of information, but also remote heating/cooling to leverage co/tri-generation, clean and grey water with detailed per user/usage billing that encourage collection and reuse, underground pipes for differentiated waste collection). • Public transportation and road network that aim to manage the mobility needs with an appropriate Intelligent Transport System (ITS) that takes care of congestion charging, reduce pollution and accident rate, manage parking, car and bike sharing, reserved lanes, digital signing, integrated payments by vehicle pollution category, etc. • ICT network that leverage high speed services, mobile advanced location based services, social networking

and collaborative crowd sourcing, info-tainment, teleworking, remote assistance and medical surveillance for disabled or elderly people, touristic orientation and guidanc Integration of public local administrative services with central private ones, to improve coordination, information sharing and dematerialization, cooperation with not for profit sector, accessibility and reduce the transaction cost and environmental payload. As microcosms of the smart cities, smart and green buildings and homes stand to benefit the most from connecting people, process, data, and things [3].

The Internet of Things (IoT) is a key enabler forsmart cities, in which sensing devices and actuators are major components along with communication and network devices. Management of smart homes often requires analyzing IoT data from the interconnected networked devices to optimize efficiency, comfort, safety, and to make decisions faster and more precise [2]. Internet of Things (IoT) is a decade-old term for the interconnection of a plethora of heterogeneous objects and things over a global network so that they can exchange data and interact in real-time. Technologies, such as radio frequency identification, wireless sensor networks, artificial intelligence and machine learning, form the backbone of such interactions. The telecommunications sector estimates that by 2025 more than a half billion devices will be connected with each other [2]. The increasing consumption of energy, soil and other nonrenewable resources, difficulty in waste management, acoustic pollution; altered microclimate, urban traffic congestion, hard to provide home care for the elderly, poor security and social integration are some examples of the growing cities' issues that require timely and effective solutions, with more and more difficult to find resources for local government, called upon to assume direct responsibility. A good carbon management strategy in the town government is also essential for managing the potential risks associated on a global scale with climate change, that very often can have a massive impact on high density urban areas. These risks include: • Physical risks from the direct impacts of climate change, like severe weather events: heating is often up to 6 C higher in the city center (urban heat land effect), soil erosion and extreme precipitation, most towns are near to river or the coast and therefore are exposed to flooding , ecosystem alterations that favor new invasive plants and pests with habitat destruction, fire exposure, etc. • Regulatory and Litigation risks from tightening national and international regulations like in EU: pollution due to concentrated traffic and buildings' heating is a serious concern not only for health consequences on citizens but also for penalties that can be applied. Climate change-related law suits and public actions by NGOs like GreenPeace are now being seen in the US, EU and some other states. • Competitive risks from cities that have a better environmental reputation and a shared sustainability approach versus ones whose citizens perceive a lack of action to address climate change and pollution. Consumer sustainability awareness is a growing topic in the local political agenda, where the link with territory is stronger. As the sustainability mandate expands, cities committed to social and environmental causes are likely to attract the top talent; also investors now look at sustainability performance. There could also be consequences for economies dependent on tourism. • Operational risks from changes like rising electricity prices or transportation costs linked to fossil fuels and other depleted natural resources, like potable water (exposed to exhaustion and pollution), can have a direct impact on the OPEX of the local public administration. The increased "environmental refugees" pressure might also affect cities [3].

To help comparing and integrate different contribution there was built the following taxonomy of the ICT and innovation role in the Smart City extending the original one from the Eurocity charter and European Smart Cities, an EU project led by the Vienna University of Technology: 1. Info-mobility and ITS: smart mobility, logistic and technology 2. Developing human resources and social capital: Smart People. 3. Economics: Smart Economy for competiveness 4. Quality and Sustainability of living 5. Ecosystem: Sustainable Environment, renewable energy and other resources 6. E-democracy, Government, Smart

Government [3].

So, other words its Smart Community inside of smart cities. "Smart Community" is a new form of social system that comprehensively manages the supply and demand of energy in the distributed energy systems, optimizes the use and application of energy, and incorporates lifestyle support services including monitoring service for the elderly, through the energy management system utilizing IT and storage energy technologies, while making use of distributed energy resources such as renewable energy and cogeneration. The Smart Community as the comprehensive approach for the above mentioned social issues will be implemented by the integration of advanced technologies related to environment and energy.

Smart Community being addressed in Japan has the concept involving smart grid. Whereas smart grid refers to the state being smarter by ICT for electric power system, Smart Community is the effort of changing social system of a defined area into smarter state with technologies not only for electric power system but also for a variety of public infrastructure including heat supply, water and sewerage, transportation and communications [3].

The concept of the Smart Community provided above is viewed from the present perspective. However, as the solutions to implement Smart Community continue to take the shape, the concept is beginning to further expand, allowing us to expect that these evolutions will add richer value to the social system in the next generation.

The next steps of this research will be the collection of detailed descriptions of several emblematic best practices of smart city (e.g. Freiburg, Stockholm, Curitiba, Masdar, Songdo, Melbourne, Amsterdam, Boulder, etc.), innovative towns and eco-districts. Those examples allow to proof the feasibility of smart cities, where ICT and innovation are the enabling components of the new paradigm of sustainable, ICT empowered city, on multiple dimensions: economical, environmental, social and cultural. Additionally, many European and Global Organizations and Companies, with a specific, but not exclusive, focus on ICT ones (e.g. IBM, CISCO, ACCENTURE, etc.), that drive the Smart City revolution, have already proposed very interesting models but that till now they are available only on separate documents. There are also some technologies and vertical solutions, such as in building, transportation and energy management or e-government that are strongly involved in the transformation of a town in a smart city, with ICT that is often a winning additional tool to find new, cheaper and smarter solution to old and rising problems. Finally a stakeholder map will be provided to identify most of the actors involved in a smart city [3]. The final scope of this broad research is that of taking the best of each point of view, indentify low hanging fruits and long term strategies, in order to support a general framework, that is still flexible enough to be applied to specific needs and scenarios.

Reference

1. Zanella, A.; Bui, N.; Castellani, A.; Vangelista, L.; Zorzi, M. Internet of Things for Smart Cities. IEEE Intern. Things J. 2014, 1, 22–32.

2. Klein, C.; Kaefer, G. From smart homes to smart cities: Opportunities and challenges from an industrial perspective. In Proceedings of the International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking, St. Petersburg, Russia, 3–5 September 2008; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; p. 260.

3. Sheng, Z.; Yang, S.; Yu, Y.; Vasilakos, A.V.; Mccann, J.A.; Leung, K.K. A survey on the ietf protocol suite for the internet of things: Standards, challenges, and opportunities. IEEE Wirel. Commun. 2013, 20, 91–98.

УДК 621.326

Олег Кондратюк
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ В ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

Зроблено оцінку вигоди від використання сонячної енергії за допомогою сонячних колекторів в природно-кліматичних умовах України.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, сонячна енергетика, колектор, сонячне випромінювання.

Oleh Kondratiuk

EFFECTIVENESS OF USING SOLAR COLLECTORS IN NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF UKRAINE

An estimation of the benefits of using solar energy with solar collectors in the natural and climatic conditions of Ukraine is made.

Keywords: renewable sources of energy, solar energy, collector, solar radiation.

Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії останнім часом стали одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання.

Європейська Спільнота вимагає від країн, які прагнуть до неї вступити, збільшення частки відновлювальних джерел енергії в національному виробництві енергії до 6%, а до 2030 року – до 20%. В Україні показник використання альтернативних видів енергії знаходиться на рівні 0,7%.

Основним напрямом є використання сонячної енергії. Енергія сонця характеризується значним запасом енергії, який важко порівняти з будь-яким іншим доступним джерелом. На сучасному етапі можливості її використання обмеженні технологіями, але це не заважає користуватись нею з достатньою ефективністю. Так в Сполучених Штатах вартість 1 Вт електричної енергії, виробленої сонячними модулями з 1985 р до 2011 р зменшилась в 7 разів – з 7 $/Вт до 1 $/Вт. А вартість теплової енергії виробленої сонячними колекторами зменшилась в 15 разів. Якщо для Америки та Європи установки стали дешевші, то для України вони стали доступні по ціні, і самоокупні через зростання ціни на газ.

Рис.1. Потенціал сонячного випромінювання в Україні.

Все це спонукає до інтенсифікації використання сонячної

енергії, оскільки вона може ефективно трансформуватись в теплову та електричну і використовуватись для потреб опалення та гарячого водопостачання.

Вигоду від використання сонячної енергії можна оцінити по картах сонячної активності. Розглянувши потенціал Європи ми бачимо, що і в Україні він теж значний, а значить у нас є всі можливості для використання енергії сонця.

Якщо порівняти Україну з іншими європейськими країнами, то побачимо, що Північна Італія знаходиться в четвертій зоні, центр та південь Франції – це теж третя та четверта зони. Також Угорщина, Словенія, Австрія та Словаччина лежать в другій зоні, а Чехія – в першій та другій зонах. Вся територія Польщі знаходить в першій зоні. Територія Німеччини теж відповідає першій та другій зоні України.

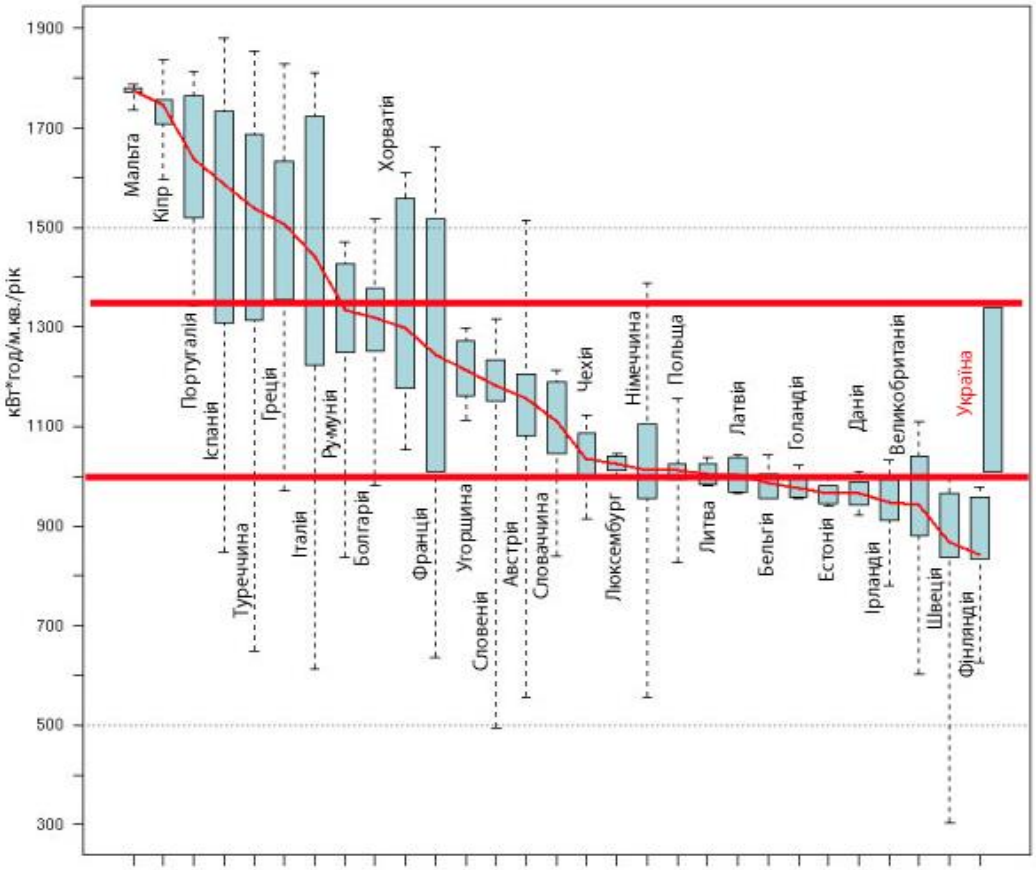


Рис.2. Річна кількість сонячної інсоляції, кВт*год/м^2

Розглянемо як співвідноситься Україна в загальному рангу сонячної інсоляції серед європейських країн.

Середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання, яка надходить щорічно на територію України, знаходиться в межах від 1 070 кВт·год/м. кв. в північній частині України до 1 400 кВт·год/м. кв. і вище в АР Крим.

З побаченого можна зробити висновок, що в Україні сонячну енергію вигідно використовувати не тільки в Криму та на Сході а й по всій території України. Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися на протязі всього року проте, максимально ефективно протягом 7 місяців на рік (з квітня по жовтень).

Впродовж останніх десятиліть було сконструйовано та досліджено різноманітні сонячні колектори. Головною метою цих досліджень було підвищення коефіцієнта корисної дії сонячного колектора та зниження його вартості, оскільки підвищення

ефективності, зазвичай, супроводжується зростанням ціни сонячних колекторів. Тому доцільним є пошук оптимальних параметрів сонячного колектора, що дасть змогу отримати максимальний коефіцієнт корисної дії за мінімальних економічних затрат.

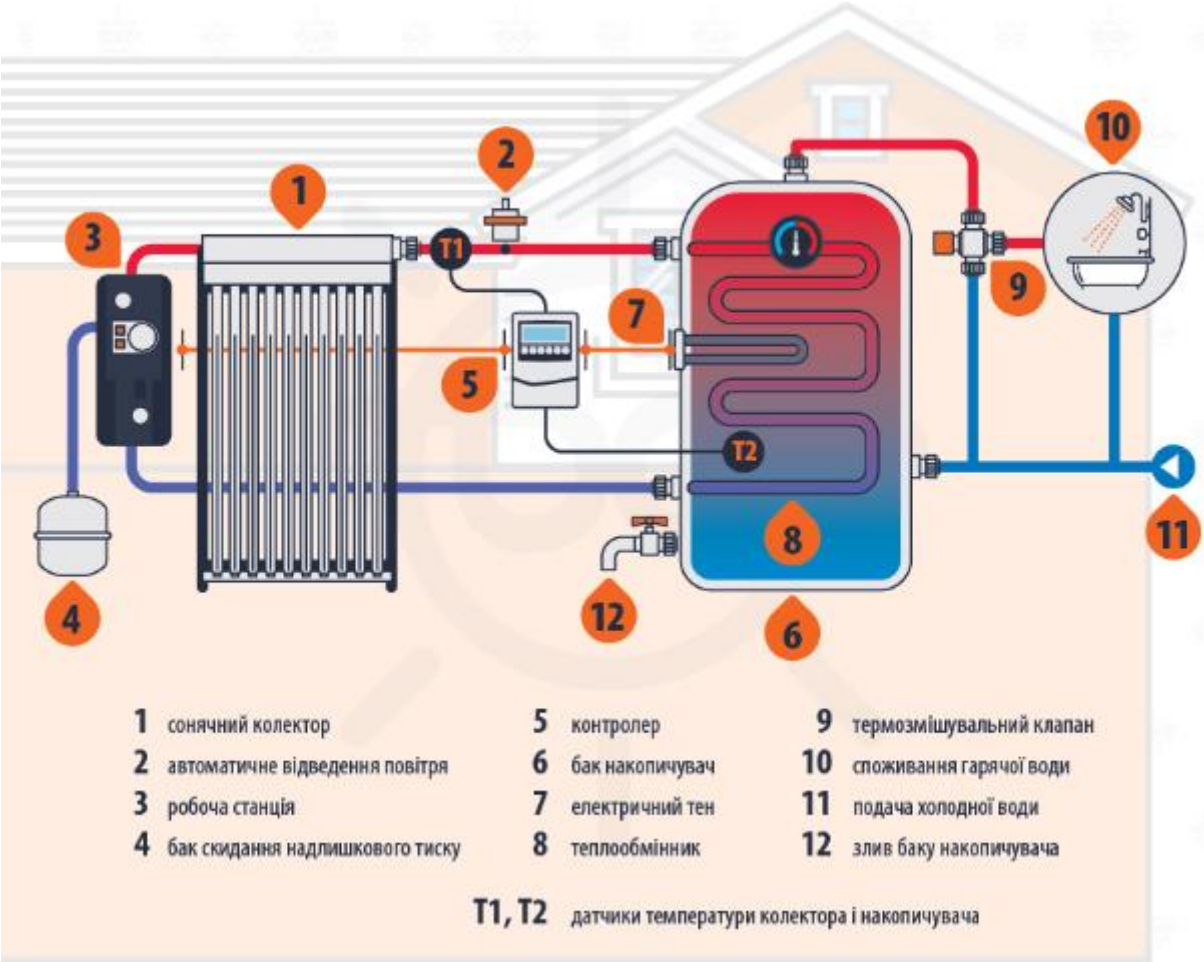


Рис. 3. Схема нагріву води за допомогою сонячного колектора.

Література

1. Вікіпедія вільна енциклопедія [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Сонячна_енергетика_України – Сонячна енергетика України.

2. Тепловам [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: https://teplovam.ua/opalennya-ta-gvp/sonyachna-energiya-chomu-tse-vigidno-dlya-ukrayini/ – Сонячна енергія. Чому це вигідно для Укріни?.

3. Gravicappa [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: https://gravicappa.com.ua/ua/private_clients/systemy-nagrivu-vody-na-bazi-sonyachnyh-kolektoriv/ – Сонячні колектори для нагріву води.

УДК 628.979, 621.273

Марія Котик
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

КІНЕТИКА ФЛЮОРИСЦЕНЦІЇ МОЛЕКУЛ ХЛОРОФІЛУ

Параметри флюоресценції є показником стану та ефективності протікання процесів фотосинтезу, оскільки зменшення ефективності використання світлової енергії у фотосинтезі веде до збільшення інтенсивності флуоресценції.

Ключові слова: кінетика флюоресценції, хлорофіл, імпульс світла, флюориметр

Maria Kotyk

KINETICS OF FLUORESCENCE OF CHLOROPHYLL MOLECULES

Since the reduction of the efficiency of the use of light energy in photosynthesis leads to an increase in the fluorescence intensity.

Keywords: fluorescence kinetics, chlorophyll, pulse of light, fluorometer

Кінетика флюоресценції вперше була досліджена в 1931 році Kautsky і Hirsch [1]. Авторами було показано, що освітлення попередньо адаптованих в темноті рослин синім світлом призводить до різкого росту червоної флюорисценції хлорофілу в перші секунди від моменту його включення, після чого інтенсивність флюорисценції поступово знижується до деякого стаціонарного рівня.

Кінетика загасання флуоресценції рослин після короткого (близько 1 с) імпульсу світла, включає в себе короткочасні (τ=10-9-10-7с швидка флуоресценція) і довготривалі компоненти (τ=10-6-10 с, уповільнена флуоресценція) [2].

Час темнового інтервалу між освітленням і вимірюванням післясвітіння становить приблизно 1 сек. При таких умовах реєструють кінетику загасання довготривалих компонент післясвічення з τ> 100 мс.

При включенні світла спостерігається спочатку швидке, а потім повільне наростання інтенсивності післясвічення до максимального значення. Далі відбувається зниження інтенсивності післясвічення до стаціонарного рівня.

Вимірювання швидкості зростання, проведене німецьким фізіологом Ю. Саксом (1872), дозволило встановити певні закономірності [3]. У початковий період темпи зростання, як правило, низькі. Потім зростання посилюється і йде з великою швидкістю (період великого зростання), а потім знову сповільнюється. В результаті збільшення розміру рослини може бути зображене у вигляді S-подібної кривої. Аналізуючи отриману криву, можна її розділити на три ділянки:

1) фаза, коли зростання змінюється експоненціально (логарифмічно);
2) фаза, коли зростання змінюється лінійно;
3) фаза гальмування росту.

При цьому ми бачимо, що спочатку швидкість росту зростає, потім деякий час зберігається на постійному рівні, а потім падає. Падіння для однорічних рослин зазвичай збігається з переходом до репродукції. Відносні прирости падають значно швидше. Це пов'язано з тим, що на ранніх етапах розвитку рослина складається майже з одного листя. Вироблена ними суха речовина йде на створення все нових і нових одиниць листкової поверхні. В результаті загальна кількість сухої речовини зростає в геометричній прогресії. Однак потім суха речовина починає все більше використовуватися на утворення речовин, які беруть участі у фотосинтезі. Листя складають все меншу частину рослини. У зв'язку з цим, незважаючи на збільшення

абсолютної швидкості приросту, його значення по відношенню до загальної маси рослини поступово падає.

Енергія поглинених квантів світла, що не була використаною для фотосинтезу [4,5] переходить або в тепло, або у флуоресценцію хлорофілу. Параметри флюоресценції є показником стану та ефективності протікання процесів фотосинтезу, оскільки зменшення ефективності використання світлової енергії у фотосинтезі веде до збільшення інтенсивності флуоресценції. Зазвичай під час флюорисценції спостерігається зсув випромінювання люмінесценції відносно поглинання у бік більших довжин хвиль

Для збудження флуоресценції хлорофілу [6], спектр якої лежить в області 660-800 нм, використовують випромінювання з довжиною хвилі 480 нм або 532 нм. В сприятливих умовах не більше 3% енергії електронного збудження хлорофілу переходить в енергію світла флуоресценції у вигляді так званої фонової флуоресценції, якщо її значення мале, то це свідчить про активне використання клітинами енергії поглиненого світла. Цей рівень флюоресценції відповідає умовам, коли усі реакційні центри фотосистеми перебувають у так званому "відкритому" робочому стані, при якому вони ненасичені, тоді поглинена світлова енергія вже не використовується на фотосинтез і флуоресценція хлорофілу зростає, досягаючи максимального значення. Насичення реакційних центрів може відбуватися при збільшенні інтенсивності світлового потоку, тому на інтенсивність спектральних ліній флюоресценції хлорофілу впливають не лише умови в яких перебуває рослина, а й інтенсивність та тривалість світлового потоку збудження.

Для вимірювання флюоресценції використовують флюориметри. Принцип роботи флюориметра заснований на вимірюванні величини люмінесценції - інтенсивності випромінювання деяких речовин внаслідок збудження під дією світла певної довжини хвилі, причому довжина хвилі збуджуючого світла завжди менша від довжини хвилі світла випромінюваного. Завдяки роботі фотодетектора відбувається пропорційне перетворення світлового сигналу в електричний.

У загальному випадку інтенсивність флюоресценції пропорційна концентрації флюоресціюючої речовини. Однак дане твердження справедливе лише для досить малих концентрацій. При підвищенні концентрації флюоресціюючої речовини спостерігається ряд ефектів, завдяки яким залежність інтенсивності флюоресценції від концентрації відчуває значні відхилення від лінійності. В аналітичних процедурах з використанням флюориметрії, також як в фотометрії, застосовують калібрувальні графіки, побудовані на основі флюориметрії еталонних розчинів.

Література

1.Фотосинтез в хлорофилл-дефицитных тканях растений: флуоресцентные и фотоакустические исследования: монография / В.С.Лысенко: Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. – 138 с.

2.http://biophys.msu.ru/general_courses/laboratory_classes/material/mprac/8new002.pdf

3. http://fizrast.ru/razvitie/rost/kinetika.html

4. Рубин А.Б. Биофизика фотосинтеза и методы экологического мониторинга // Технология живых систем. – 2005, Т.2. - С. 47–68.

5. Лакович Дж Основы флуоресцентной спектроскопии. Пер. с англ. – М: Мир, 1986. – 496 с.

6. М. Тарновський, Я. Янковський Оптичні методи аналізу фізіологічного стану рослин для задач сільського господарства та екологічного моніторингу. – 2012, С.127-

УДК 621.3.013

Наталія Куземко, к.т.н., доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК З ВРАХУВАННЯМ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

Розглянуто особливості моделювання електромагнітного поля з урахуванням поправок на теорію відносності для прискорення елементарних частинок.

Ключові слова: електромагнітне поле, моделювання, теорія відносності, елементарні частинки.

Nataliia Kuzemko

ELECTROMAGNETIC FIELD THROUGH RELATIVITY CONCEPT FOR FUNDAMENTAL PARTICLES ACCELERATION SIMULATION.

Considered the electromagnetic field simulation features, taking into consideration the theory of relativity for the acceleration of elementary particles.

Keywords: electromagnetic field, simulation, relativity concept, fundamental particles.

Making particles travel at speeds close that of light is an important condition while investigating quantum properties of our world. There are three known ways to make fundamental particles travel close to speed of light [1]:

- electromagnetic fields;
- magnetic explosions;
- wave particle interaction.

Electromagnetic field is described with the following equations:

$$\overline{E'}_{\parallel} = \overline{E}_{\parallel}\ ,\ \overline{E'}_{\perp} = \gamma(\overline{E}_{\perp} + \overline{v} \times \overline{B}_{\perp}),$$

$$\overline{B'}_{\parallel} = \overline{B}_{\parallel}\ ,\ \overline{B'}_{\perp} = \gamma(\overline{B}_{\perp} - \overline{v} \times \overline{E}_{\perp}).$$

The pertinent static Maxwell's equations are satisfied in both frames [2]:

laboratory frame: $\nabla \cdot \overline{E} = \dfrac{\rho}{\varepsilon_0}$, $\nabla \times \overline{B} = \mu_0 \overline{J}$,

in the frame of moving charge: $\nabla' \cdot \overline{E'} = \dfrac{\rho'}{\varepsilon_0}$, $\nabla' \times \overline{B'} = 0, (\overline{J'} = 0)$.

Invariance of the counted number of photons and the Lorentz-Einstein transformations enable us to derive transformation equations for the physical quantities introduced in order to characterize energy emission and transport in a plane and in a spherical electromagnetic wave propagating in vacuum.

After Maxwell proposed the differential equation model of the electromagnetic field in 1873, the mechanism of action of fields came into question, for instance in the Kelvin's master class held at Johns Hopkins University in 1884 and commemorated a century later.

The requirement that the equations remain consistent when viewed from various moving observers led to special relativity, a geometric theory of 4-space where intermediation is by light and radiation. The spacetime geometry provided a context for technical description of electric technology, especially generators, motors, and lighting at first. The Coulomb force was generalized to the Lorentz force. For example, with this model transmission lines and power grids were developed and radio frequency communication explored.

The question of how an electric field in one inertial frame of reference looks in different reference frames moving with respect to the first is crucial to understanding fields created by moving sources. In the special case, the sources that create the field are at rest with respect to one of the reference frames. Given the electric fieldin the frame where the sources are at rest, one can ask: what is the electric field in some other frame? Knowing the electric field at some point (in space and time) in the rest frame of the sources, and knowing the relative velocity of the two frames provided all the information needed to calculate the electric field at the same point in the other frame. In other words, the electric field in the other frame does not depend on the particular distribution of the source charges, only on the local value of the electric field in the first frame at that point. Thus, the electric field is a complete representation of the influence of the far-away charges.

Alternatively, introductory treatments of magnetism introduce the Biot–Savart law, which describes the magnetic field associated with an electric current. An observer at rest with respect to a system of static, free charges will see no magnetic field. However, a moving observer looking at the same set of charges does perceive a current, and thus a magnetic field. That is, the magnetic field is simply the electric field, as seen in a moving coordinate system.

Maxwell equations in Gauss coordinate system [3]:

$$\partial_\nu F^{\mu\nu} = -\frac{4\pi}{c} J^\mu,$$

$$\partial_\alpha F_{\beta\gamma} + \partial_\beta F_{\gamma\alpha} + \partial_\gamma F_{\alpha\beta} = 0.$$

Thus Maxwell equations corrected for relativity effect will look like [3]:

$$\overline{E'}_\parallel = \overline{E}_\parallel, \quad \overline{B'}_\parallel = \overline{B}_\parallel,$$

$$\overline{E'}_\perp = \frac{\overline{E}_\perp + 1/c\left[\overline{v} \times \overline{B}\right]}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad \overline{B'}_\perp = \frac{\overline{B}_\perp + 1/c\left[\overline{v} \times \overline{E}\right]}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

The relativistic Doppler effect deserves a special review.

The relativistic Doppler effect is different from the non-relativistic Doppler effect as the equations include the time dilation effect of special relativity and do not involve the medium of propagation as a reference point. They describe the total difference in observed frequencies and possess the required Lorentz symmetry.

Doppler effect is observed and treated differently in the view of the limitations and discrepancies of the special relativity. The results of all previous experiments regarding the effect are questioned, as well as practical applications involving the effect, especially those where a high degree of accuracy is critical [4]:

All the above said, relativistic correction for electromagnetic field particle acceleration becomes more and more important when designing particle accelerators. The classical approach has become obsolete as it doesn't take into the consideration neither relativistic speeds correction, nor Doppler effect corrections. The areas becomes more attractive for investigators and simulators.

Література

1. https://www.space.com/fundamental-particles-travel-speed-of-light.html?utm_source=sdc-newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=20190531-sdc).

2. http://physics.usask.ca/~hirose/p812/notes/Ch10.pdf).

3. Zhdanov V.I. Introduction to Relativity,- 1989.-350p.

4. Joseph A. Rybczyk. Relativistic Transverse Doppler Effect Simplified,- 2007.-p.1.-256p.

УДК 621.31

Курочкін Д.О.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ.

В роботі представлено та коротка характеристика схем управління освітленням. Особливу увагу приділено системі керування DALI з її масштабуванням через протокол інтернет.

Ключові слова: управлінням світлом, DALI, інтернет.

Kurochkin D.O.

ANALYSIS OF EXTERNAL LIGHTING CONTROL SYSTEMS.

The paper presents a brief description of the lighting control schemes. Particular attention is paid to the DALI control system with its scaling through the Internet protocol.

Keywords: light control, DALI, internet.

Одним із шляхів енергозбереження у світлотехнічній галузі є використання систем керування освітленням. На сьогоднішній день застосовуються системи аналового та цифрового керування. До аналогових систем відносять систему 0-10в, де управління відбувається за допомогою зміни постійної напруги в діапазоні 0 – 10 В. В цьому випадку на входи, що управляють освітльвальними установками (ОУ), подається напруга у вказаному інтервалі і залежно від її величини встановлюється яскравість світлового приладу. Нульовій напрузі відповідає мінімальна яскравість, а значенню +10 В – максимальна. Даний метод дуже затратний та малофункціональний. Основною перевагою цифрових схем є комунікація, зв'язок між окремими пристроями, об'єднаними в систему.

До цифрових систем відносять:

DMX-512A (англ. digital multiplex) – цифровий помножувач, для цифрових мереж передачі даних, використовуваних для управління світлодіодними джерелами світла та пристроями на їх основі. Він є ущільненим цифровим протоколом, здатним працювати з 512 пристроями. Оскільки обмін можливий тільки в одному напрямі він не передбачає перевірки і виправлення помилок.

RDM (Remote Device Management) протокол є модернізацією протоколу DMX512 він підтримує двосторонню комунікацію між керуючим пристроєм і обладнанням. Це дозволяє діагностувати стан приладів. Прожектор з протоколом RDM розпізнається пультом, як тільки його підключають до мережі живлення і керування. Прожектор може передати на керуючий пульт інформацію про свій стан: споживаний струм, робоча температура, час роботи, напругу в мережі, індекс передачі кольору. Протокол RDM дає можливість віддалено задавати стартові DMX-адреси в приладах, що для великих інсталяцій дозволяє істотно прискорити прописування освітлювальних приладів.

Система DALI стандартизована згідно стандарту IEC 60929. Розроблена на основі принципу децентралізованого інтелекту, тому кожен пристрій DALI має пам'ять, в якій зберігається вся необхідна інформація про пристрій, включаючи діагностичну,

яка знижує технічні вимоги до системи управління і обсяг даних, переданих по шині. Лінія DALI – інтерфейсу двобічна, що дозволяє передавати інформацію як від контролера до периферійних пристроїв, так і назад. Зв'язок між контролером DALI і окремими пристроями здійснюється по двопровідній лінії. Можливе управління до 64 пристроїв по одній шині, на кожному просторі можна утворювати до 16 варіантів сцен;

Bluetooth система використовується для управління світловими приладами в будинку та індивідуального освітлення і вмонтовується в більшості випадків в невеликі світильники декоративного призначення.

ACN (Architecture for control networks E1.17). мережевий протокол для управління освітлювальними системами по IP-мережі. Зв'язок здійснюється за стандартними лініями Ethernet або Wi-Fi. Протокол ACN є повністю двонаправленим. Кожен пристрій має унікальний ідентифікаційний номер, за яким контролер розпізнає підключені пристрої. Крім того, до кожного пристрою додається файл з описом всіх можливостей джерела світла. Таким чином, контролер зможе керувати світильниками, які з'являться в майбутньому. При переході з DMX512 на ACN розроблений проміжний протокол DMX-over-ACN (Streaming ACN, або BSR E1.31).

GSM-система керування вуличним освітленням побудована по мережевій топології «зірка» (1 сервер — багато клієнтів). Управління відбувається з одного диспетчерського пункту. Обмін даними між сервером і клієнтами в системі відбувається по технології пакетної передачі даних GPRS через мережу Інтернет. Такий тип передачі дуже зручний, так як немає необхідності використання модемів – серверів.

Він дозволяє підключити до комп'ютера велику кількість маршрутизаторів і виконувати обмін даними в режимі онлайн з всіма одночасно. Безпровідна система не є повноцінним аналогом провідного зв'язку, адже при безпровідній передачі виникають затримки в передачі даних. Крім того, безперервний потік даних може розбиватися на декілька частин (пакетів). Зазвичай дані обмеження не є суттєвими. Інтернет системи є на теперішній час найефективніші, в розвинених містах поступово запроваджують програму розумне місто, це економить колосальні кошти на енергоспоживанні та обслуговуванні систем зовнішнього освітлення.

УДК 621.326

Микола Липовецький, Мирослав Наконечний, к.т.н.,
Володимир Андрійчук, д.т.н., проф.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЖИВЛЕННЯ НА СПЕКТРИ СИНЬОГО ТА ЧЕРВОНОГО СВІТЛОДІОДІВ

Представленні спектри випромінювання монохроматичних світло діодів червоного та синього свічення при різних значеннях амплітуди імпульсів напруги живлення частотою 30 кГц. Показано вплив амплітуди імпульсів на спектральний склад випромінювання.

Ключові слова: світлодіод, спектр випромінювання, світлова віддача, коефіцієнт заповнення імпульсу, тривалість після свічення

Mykola Lypovetskuy, Myroslav Nakonechyi, Volodymyr Andriychuk,

INFLUENCE POWER PARAMETERS OF THE SPECTRA BLUE AND RED LED

On the basis of the obtained oscillograms of the pulses of voltage and current as well as the radiation spectra of light diodes of blue and red colors, depending on the amplitude of the pulses, the changes in the spectral composition of the radiation are presented.

Keywords: light-emitting diode, radiation spectrum, light output, pulse-fill factor, duration of after-illumination

Вивчення впливу параметрів живлення на спектральний склад випромінювання є важливим при визначенні оптимальних умов роботи регульованого блоку живлення, Саме тому ставилася задача провести дослідження впливу електричних параметрів світлодіодів монохромного свічення на їх спектр випромінювання. Для цього були вибрані світлодіоди червоного і синього свічення побудованих AlInGaP; InGaN. Живлення відбувалося П-подібними імпульсами напруги різної амплітуди частотою 30 кГц.

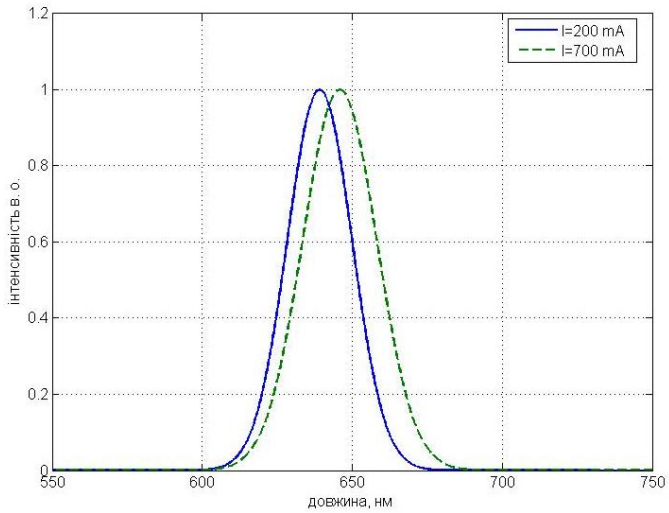


Рис. 1. Спектри випромінювання червоного світлодіода для рівничних значень амплітуди струму

На рисунку 1 приведено спектр випромінювання червоного СД при амплітуді напруги живлення 1.9В та струму 200мА. Форма спектру повністю підпадає під Гауссівський розподіл із максимумом при 639 нм.

При зміні амплітуди напруги живлення до 2.4В, а струму до 700 мА форма спектру випромінювання не змінювалась, але його максимум зміститься до 645 нм.

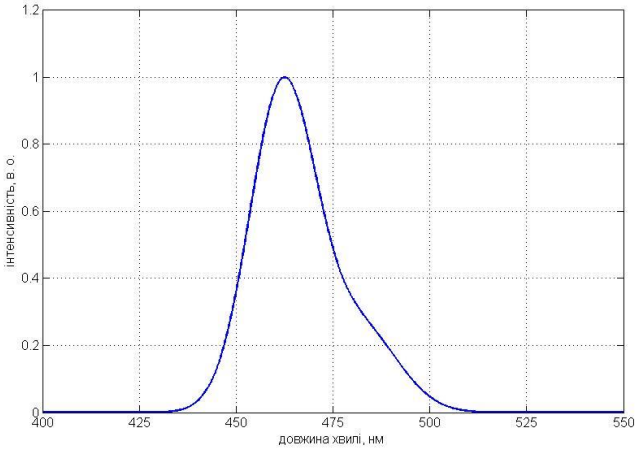


Рис. 2. Спектр випромінювання синього світлодіода при амплітуді струму 200 мА

На рисунку 2 приведено спектр випромінювання синього СД. При амплітуді імпульсів напруги живлення 2.9 В і струму 200 мА максимум випромінювання знаходиться при 462 нм, а при амплітуді напруги живлення 3.5 В і струму 700 мА – 464 нм. На довгохвильовому спаді спектральної характеристики спостерігається перегин на довжині хвилі 480 нм. Це свідчить про те, що він складається, щонайменше, із двох смуг. При збільшенні напруги живлення його максимум зміщується всього на 2 нм, а перегин на довгохвильовому спаді проявляється більш чітко.

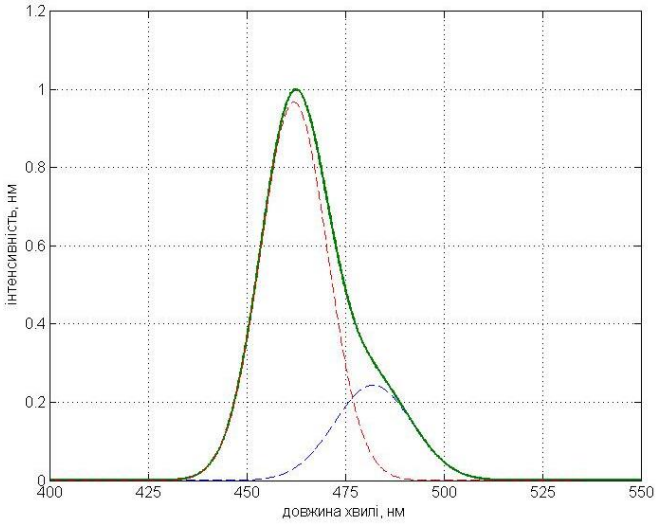


Рис. 3. Спектр випромінювання синього світлодіода при амплітуді струму 700 мА

Було проведено розкладання спектрів випромінювання синього світлодіоду, знятих при різних параметрах живлення, на елементарні смуги, форма яких представлена Гауссівським розподілом інтенсивності свічення від довжини хвилі (рис 3). Після проведеного аналізу даний спектр був розбитий на дві елементарні смуги з максимумами 463 нм 480 нм . При збільшенні напруги живлення спостерігається зростання інтенсивності довгохвильової складової випромінювання синього світлодіода.

Таким чином із зростанням амплітуди напруги живлення максимум свічення червоного світлодіода зміщується в довгохвильову область із 639 до 645нм. В спектрі випромінювання синього СД спостерігається дві смуги свічення з максимумами при 463 та 480 нм. Із зростанням імпульсної напруги та струму живлення інтенсивність довгохвильової смуги зростає.

УДК 621.327

Анатолій Лупенко, докт. техн. наук, Тарас Чомко
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

БАГАТОСЕКЦІЙНИЙ РЕЗОНАНСНИЙ ІНВЕРТОР З КОРЕКЦІЄЮ КОЕФІЦІЕНТА ПОТУЖНОСТІ

Anatoliy Lupenko, Taras Chomko

MULTISTAGE RESONANT INVERTER WITH POWER FACTOR CORRECTION

Транзисторні високочастотні резонансні інвертори напруги (РІН) переважно виконують на основі мостових або напівмостових ключових схем. Однак використання схемотехніки мостового, а тим більше напівмостового, інвертора для потужних РДС стає проблематичним через потужнісні обмеження компонентної бази силової електроніки, в першу чергу, транзисторів. Тому в потужних інверторах доцільно використовувати паралельне ввімкнення інверторів як окремих секцій, які працюють на спільне навантаження. Схема такого *n*-секційного інвертора (*n* – довільна кількість секцій) показана на рис.1. При синфазній роботі його *n*-секцій вихідна потужність інвертора пропорційна кількості його секцій.

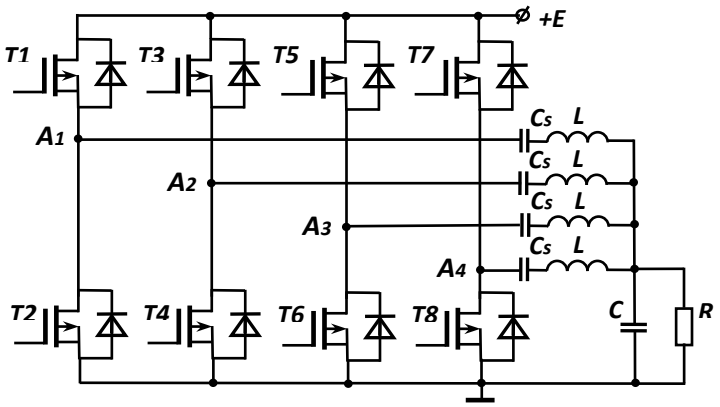


Рис. 1.

Змінюючи фазові зсуви імпульсів живлення секцій, можна реалізувати фазове регулювання потужності *P* в навантаженні інвертора в діапазоні від 0 до 100%. Однак зменшення активної потужності в навантаженні при регулюванні супроводжується зростанням відношення реактивної потужності інвертора до його активної потужності, що обумовлює зменшення його ККД на малих потужностях.

Для суттєвого послаблення цього недоліку пропонується при зменшенні потужності відключати надлишкові секції, забезпечуючи меншу потужність відповідно меншою кількістю секцій.

Живлення секційного інвертора здійснюється від живильної мережі змінного струму через випрямляч з наступним блоком коректора коефіцієнта потужності (ККП) для забезпечення високої якості споживання електроенергії.

Побудова таких ККП при великих і регульованих потужностях є досить непростою задачею. Крім того, при зменшенні вихідної потужності ККП (при регулюванні) також зменшується і його ККД.

Тому, розвиваючи вищевказаний «секційний підхід», пропонується поширити його і на блок ККП, а саме, до складу кожної секції РІН повинен входити свій інтегрований в секцію вузол ККП, потужність якого є в *n* разів меншою за загальну потужність блока ККП. Такий підхід дає змогу будувати секційні інвертори з інтегрованими ККП на дешевших менш потужних транзисторах і дроселях з меншими струмами насичення та габаритами.. При цьому для зменшення кількості транзисторних ключів та їх драйверів пропонується в кожній секції застосувати схемотехніку однокаскадних інверторних секцій з інтегрованими ККП, в яких один з

ключів та його драйвер використовується одночасно як в інверторі, так і в ККП. Таке об'єднання є можливим у випадку, якщо і інвертор, і вузол ККП працюють синхронно.

Схема пропонованого *n*-секційного РІН з ККП наведена на рис.2. Кожна секція *S1-Sn* виконана за схемою напівмостового інвертора з інтегрованим ККП на базі знижувального перетворювача постійної напруги (ЗПН), який працює в режимі переривчастого струму. Як ККП можна також використати і інші перетворювачі постійної напруги, наприклад, підвищувальний або знижувально-підвищувальний перетворювачі. Технічна реалізація РІН із ЗПН є простішою з точки зору його захисту в аварійному режимі при відключенні навантаження, оскільки вихідна напруга ЗПН не

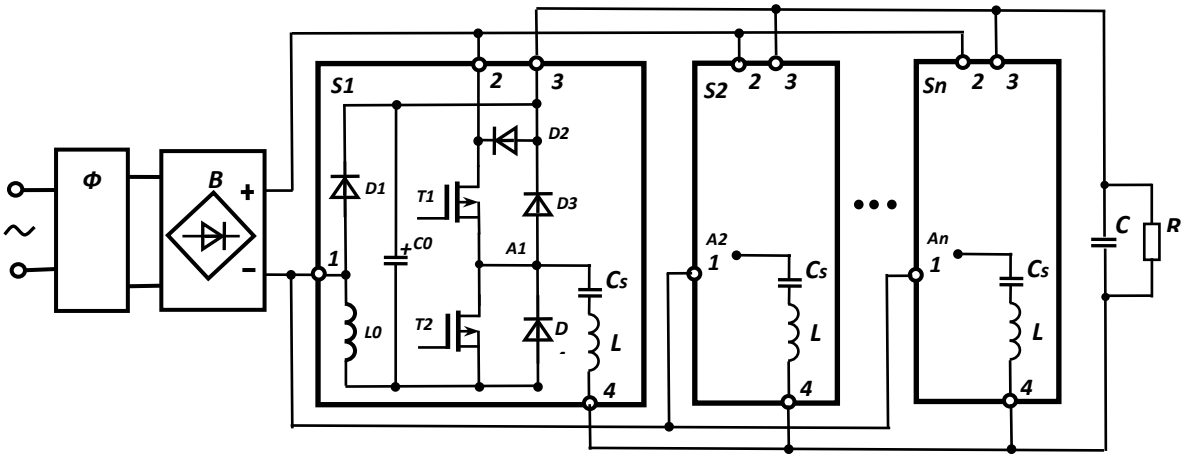


Рис. 2.

може перевищувати його вхідну напругу.

До складу резонансного напівмостового інвертора кожної секції входять транзистори *T1* і *T2,* роздільний конденсатор *Cs*, конденсатор *C* резонансного контуру та паралельно ввімкнені дроселі *L* всіх *n* секцій. Тому резонансна частота ω_0 багатосекційного РІН залежить від кількості *n* секцій дорівнює $\omega_0 = \sqrt{\frac{n}{LC}}$. До складу вузла ККП входять транзистор *T1*, дросель *L0*, накопичувальний конденсатор *C0* та навантаження (у складі напівмостового інвертора та опору навантаження *R*). Часова діаграма роботи секції РІН в усталеному режимі наведена на рис.3, де $u_{зв1}$, $u_{зв2}$ – напруги на затворах транзисторів *T1* і *T2;* u, u_1 – напруга на виході напівмоста та її перша гармоніка; i_L, i_{L0} – струми резонансної індуктивності *L* та індуктивності *L0* ЗПН.

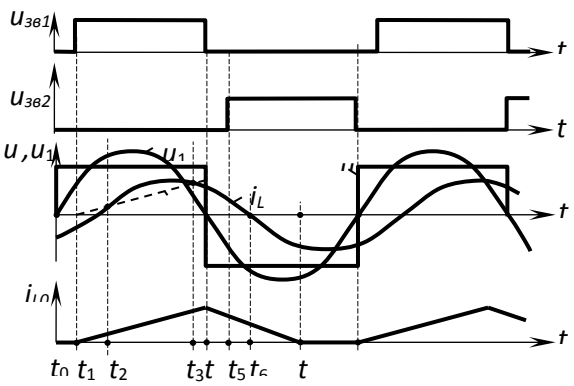


Рис. 3.

Зміна потужності в пропонованому РІН (на відміну від фазового регулювання в РІН рис.1) може здійснюватися наступним чином:

1) зміною коефіцієнта заповнення імпульсів напівмостів однієї, декількох або всіх секцій в залежності від діапазону регулювання потужності.

2) якщо в процесі регулювання необхідну потужність може забезпечити менша кількість секцій, «зайва» секція може бути відключена шляхом замикання нижнього *T2* і розмикання верхнього *T1* транзисторів цієї секції, а це сприяє підвищенню ККД інвертора при зменшенні його потужності.

UDC 621.321

Lukman Ahmed Omeiza, Lecturer; Dr, Salawudeen Ahmed Tijjani, Lecturer
Department of Electrical Engineering Federal Polytechnic Bida Nigeria,
Department of Electrical/Electronic Engineering Ahmadu Bello University Zaria Nigeria

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF GEREGU ELECTRICAL POWER NETWORK

The aim of the study was to evaluate the possible ways of increasing the efficiency of Geregu Electrical Power Network.

Keywords: power station, electrical energy, power network, efficiency.

Increasing the efficiency of Geregu Electrical Power Network was researched by employing the method of mathematical calculation of preliminary data of design, to help find out the exact point of power division and in order to know the working condition of voltages during operation. This will help decide which point needs voltage regulation most in order to increase performance. The electrical power network was constructed by defunct USSR. Calculations was made base on information obtain from the name plate data of various component at the electrical power network (Transformers and transmissions lines). The normal working modes were established and the analysis of the index mode was made, the point of power division was found. Measures were purpose for increasing the effectiveness of the electric power station and minimizing cost base on the result of mathematical calculation of primary data of design. The obtained skills and knowledge can be applied to improve any electrical power network in the world.

The modern level of civilization development is characterized by an increased consumption of all kinds of energy. These bring about fast exhaustion of organic and nuclear fuel resources, continuous growth of energy resources cost, deterioration of environment were electrical power network are located. Hence careful treatment of all kinds of energy is evidently necessary. In this electrical power network research, decisions are laid to provide the reasonable compromise between cost of electrical network itself and its operation costs to preserve a reliable and uninterrupted supply of power to it consumers. Installation of transformers with minimally possible steel capacity losses were recommended [5, 6, 8], the best operation modes of electrical network chosen on the basis of electric power losses minimization [2, 5, 10].

During operation modes, parameters of electrical units can differ from the designed ones [8, 10]. The reason for these deviations can be traced to the initial information about electrical loadings, which is insufficient for the designing, change of consumer structure in load nodes while in service and deviation from the design recommendations [3, 4, 5].

The description and analysis of Geregu electrical power network is done below with the help of the schematic diagrams and tables. The information about consumers is taken from the company and tabulated on table 1. The transformers used are TRDN-25000, TDN-16000, with rated secondary voltage and maximum loads [11]. All the initial data about transmission lines and transformers are taken from the catalogue [12, 13], current which is alternative current, has industrial frequency of 50 Hz [7]. Rated high voltage of the network is 110 kV. Substations are lowering, with ratio 110/10 and 110/6 kV [1, 2, 11]. The network carries

distributive function and industrial by the nature of consumers. Network works on voltage 110kV so it is with isolated neutral [1].

The calculation of the electrical network maximum mode is necessary for the determination of power flows in its elements and voltage values in load connection nodes [3, 10]. The mode calculation is fulfilled by the method under a voltage specified at the beginning of the transmission line (on the power supply) taking into account following assumptions [11]:

- maximum loads of all nodes are supposed to coincide with time of their appearing [2, 7];
- At zero iteration the voltage in all nodes of the network are identical and equal to the rated value $U_{r\,V}$ [10].

Then capacity losses in transformers are calculated. They are necessary for determining the calculated loads, and also for estimating the efficiency of the measures to decrease power losses in the transformers. Thus, it is necessary to find separately losses in steel [1,2,5].

$$\Delta P_{ST} = n_T \cdot \Delta P_X, \quad 2*25= 50 \quad = 0{,}05\text{MVA}$$

$$\Delta Q_{ST} = n_T \cdot \frac{I_X}{100} \cdot S_{NOM} \quad 2 \cdot \frac{0.65}{100} \cdot 25 \; = 0{,}32 \text{ MVA}$$

$$R_{T\,E} = \frac{R_T}{n_T}, \quad 2.53/2 = 1.265 \text{ ohms} \qquad X_{T\,E} = \frac{X_T}{n_T}. \quad 55{,}54/2 = 27{,}77 \text{ ohms}$$

Table 1 – The calculation of power losses in the transformers

The name of the consumer	The type of transformer	n_T	S_{NOM}, MVA	S_M, MVA	K_l	ΔP_K, MVA	ΔP_X, MVA	I_X, %	U_K, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	TPDH-25000	2	25	29.12	0.58	120	25	0.7	10.5
B	TDH-16000	2	16	21.95	0.69	85	18	0.7	10.5
C	TDH-16000	2	16	18.37	0.57	85	18	0.7	10.5
D	TDH-16000	2	16	18.91	0.59	85	18	0.7	10.5
E	TPDH-16000	2	16	16.33	0.51	85	18	0.7	10.5

The name of the consumer	The type of transformer	$R_{T\,E}$, Ohm	$X_{T\,E}$, Ohm	ΔP_{ST}, MW	ΔP_{COP}, MW	ΔQ_{ST}, Mvar	ΔQ_{COP}, Mvar
11	12	13	14	15	16	17	18
A	TPDH	1.26	43.4	0.05	0.081	0.325	1.766
B	TDH	2.19	69.4	0.036	0.081	0.244	1.600
C	TDH	2.19	69.4	0.036	0.055	0.244	1.092
D	TDH	2.19	69.4	0.036	0.059	0.244	1.170
E	TPDH	2.19	69.4	0.036	0.044	0.224	0.874

Equivalent impedance values of the transmission lines are calculated according to the linear values of the active impedance (r_0) and reactance (x_0) [2, 13].

$$R_{TL} = \frac{r_O \cdot l}{n_{TL}}, \qquad X_{TL} = \frac{x_O \cdot l}{n_{TL}},$$

For the open section of the network the power flows are determined by the first Kirchhoff's law while moving from the terminal points to the supply source [1, 12].The pattern of the power flows is shown on the figure (i) Figure 2.4 - Preliminary distribution of powers on the trunk site. At first capacities on the head sites are defined for the closed site of the network [9]. For this purpose the circular network is cut on the power supply and it is represented as two-way feeding scheme with conterminous voltage on the value and direction on the supply sources. The calculation is fulfilled under the formulas [2]:

$$\underline{S}_{HS1} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \underline{S}_{CAL\,J} \cdot \underline{Z}^{*}_{J-SS2}}{\underline{Z}^{*}_{SS1\text{-}SS2}},$$

Where $\underline{S}_{CAL\,J}$ is the calculated load of *j*-node;

$\underline{Z}^{*}_{j-SS1}, \underline{Z}^{*}_{j-SS2}$ are conjugate complexes of impedances from the connection node of *j*-load up to the first and second supply sources;

$\underline{Z}^{*}_{SS1\text{-}SS2}$ is conjugate complex of the total impedance between the supply source 1 and supply source 2.

The result of calculation is equal:

$$\frac{29.16 + j19.37(3.42 - j3.55 + 5.14 - j5.04) + 15.08 + j7.71(5.14 - j5.04)}{5.99 - j6.22 + 3.42 - j3.55 + 5.14 - j5.04} = 22.137+j14.20 \text{ MVA}$$

$$\underline{S}_{HS2} = \frac{\sum_{j=1}^{n} \underline{S}_{CAL\,J} \cdot \underline{Z}^{*}_{J-SS1}}{\underline{Z}^{*}_{SS1\text{-}SS2}},$$

$$\frac{15.08 + j7.71(3.42 - j3.55 + 5.99 - j6.22) + 29.16 + j19.37(5.99 - j6.22)}{5.99 - j6.22 + 3.42 - j3.55 + 5.14 - j5.04} = 22.113+j12.88 \text{ MVA}$$

The correctness of the calculations obtained is confirmed by performing of the power balance – the equation of the produced and consumed powers [2]:

$$\underline{S}_{HS1} + \underline{S}_{HS2} = \sum_{j=1}^{n} \underline{S}_{CAL\,J}.$$

22.137+j14.20+22.113+j12.88 = 44.25+j27.08 MVA

On the rest of the network sections power flows are found according to the first Kirchhoff's law for the connection nodes of the calculated load. The calculated values of capacities are pointed on the figure as for the trunk site.

The research analysis on Geregu electrical power network has shown the possible ways of increasing the effectiveness of any Electrical power network in the world. Transformers with minimum steel and copper losses should be installed, as this will help decrease power lose during maximum load operation as shown in our calculation. The installation of compensating device will help decreases the active power losses in the copper of transformers and in the transmission lines. The transformer of timber industry was changed from TPDH-25000 to TDH-16000, as the normal loading factor of transformer was found to exceed the standard acceptable working limit ($\mathbf{0.5} \leq \boldsymbol{K_l} \leq 0.75$). The point of power division in the network was established and illustrated on the figure 2.4, thereby confirming that the point 'D' will be the most remote area of electrical power network and voltage lost will be highest, voltage regulation is required at this substation for improve effectiveness of the electrical netwrk. Without regulation the desire voltage is provided only for consumers A, B, C and E. With regulation the desire voltage is provided for all consumers.

References

1. Legrand, Book 03. (2009). Handbook on Electrical Energy Supply: 87045 Limoges France. PP. 86-128
2. Legrand, Book 02. (2009). Handbook on Power balance and choice of power supply stations: 87045 Limoges France. PP. 3-75
3. Stanley H. Horowitz and Arun G . Phadke (2008). Power System Relaying, Third Edition: Research Studies Press Limited. ISBN: 978-0-470-05712-4
4. Bhalja V., Maheshwari R. P., Chothani N. Protection and Switchgear (Oxford Higher Education). - 1 ed. - Oxford: Oxford University Press, 2016. - 576 p.
5. Gönen T. Electric Power Distribution Engineering. - 3 ed. – Boca Raton: CRC Press, 2014. - 1061 p.
6. McPartland J.F., McPartland B.J., McPartland S.P. McGraw-Hill's Handbook of Electric Construction Calculations. - New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2013. - 320 p.
7. Ram B. Power System Protection and Switchgear. - New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2011. - 684 p.
8. Kuznetsov S.M. Design traction and transformer substation: study guide. - Novosibirsk: Publishing house NGTU, 2013. - 92 p.
9. Opolev G.N. Schemes and substations of power supply: studies. allowance. - M .: Forum-Infra, 2013. - 480 p.
10. Rules for technical operation of electrical installations consumers. - M .: KNORUS, 2003. –168 p.
11. Catalogue oil-immersed transformer (n.d), Svel group Power transformers, accessed December 2018, www.svel.ru. PP. 20
12. Transmission Line Reference Book, Wind-induced Conductor Motion/ Second Edition, 2006 by the Electric Power Research Institute Inc.
13. M. Lint. Russia and CIGRE: experi ence plus innovation // Electricity: transmission and distribution. — 2013. -№ 5 (20). — P. 126-134.

УДК 628.98

Володимир Медвідь, Ірина Белякова, Вадим Пісьціо
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЗАПОБІГАННЯ АКУСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ В РОЗРЯДНИХ ЛАМПАХ ВИСОКОГО ТИСКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПСЕВДО-ВИПАДКОВОГО ЖИВЛЕННЯ

Запропоновано схему електронного баласту із високочастотним живленням для розрядних ламп високого тиску у котрій ослаблюється явище акустичного резонансу. Проаналізовано амплітуди напруг і струмів на виході баласту. Показано, що при зміні параметрів псевдовипадкового сигналу значення всіх амплітуд гармонік сигналу на виході баласту можна зробити меншім за заданий рівень.

Ключові слова: електронний баласт, високочастотне живлення ламп високого тиску, псевдовипадковий сигнал, акустичний резонанс.

Volodymyr Medvid, Iryna Beliakova, Piscio Vadim

ACOUSTIC RESONANCE PREVENTION IN HIGH-PRESSURE DISCHARGE LAMPS WITH A PSEUDO-RANDOM POWER SIGNAL

A scheme of electronic ballast with a high-frequency power supply for high-pressure discharge lamps, in which the phenomenon of acoustic resonance is attenuated, is proposed. The amplitudes of voltages and currents at the output of the ballast are analyzed. It is shown that by changing the parameters of the pseudo-random signal used, the values of the signal harmonics amplitudes at the ballast output can be made less than a specified level.

Keywords: electronic ballast, high-frequency power supply for high-pressure discharge lamps, pseudorandom signal, acoustic resonance.

Для газорозрядних ламп низького тиску широко використовують електронні баласти, які працюють на високих частотах [1]. Їх перевагою є: високий ККД, можливість регулювання струму лампи в заданих межах, збільшення світлової віддачі. Однак, при використанні високочастотних баластів з газорозрядними лампами високого тиску з'являється проблема виникнення в пальниках явища акустичного резонансу. Нестабільність дуги може виникати з лампами різних виробників, різними партіями того ж типу ламп і лампами в різні моменти часу їх.

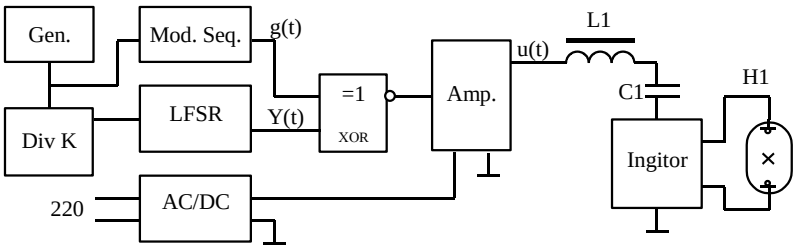


Рис. 1. Блок-схема запропонованого пристрою

Сигнал на виході підсилювача може бути записаний у вигляді: $u(t) = A\left(1 - 2\,Y(t) \oplus g(t)\right)$, де A - амплітуда сигналу на виході ключового підсилювача. Так як сигнали Y(t) та g(t) приймають лише значення логічних нуля і одиниці, то вираз може бути записаний у вигляді: $u(t) = A\left(2\,Y(t) - 1\right)(2\,g(t) - 1)$. Позначимо S(t) = 2Y(t) - 1, $q_0(t/\Delta T) = 2g(t) - 1$, тоді: $u(t) = A\,S(t)\,q(t/\Delta T)$.

Основна ідея схеми котра може дозволити запобігти виникненню акустичного резонансу [2], полягає в поданні на газорозрядну лампу деякого сигналу полярність котрого є "майже" випадковою величиною. Блок-схема запропонованого пристрою

показана на рис. 1. Вона складається із тактового генератора Gen, котрий генерує на своєму виході тактовий сигнал у вигляді меандру із частотою 10-25 кГц, цей сигнал поступає на вхід формувача модулюючої послідовності (Mod. Seq.) довжиною K біт і на подільник частоти на K (Div K), котрий формує сигнал синхронізації генератора псевдо-випадкової послідовності на основі зсувного регістру із лінійним зворотнім зв'язком (LFSR - *linear feedback shift register*). Сигнал з виходу блоку LFSR Y(t) і заповнюючий сигнал g(t) об'єднуються між собою виключаючим-АБО (XOR). Отриманий вихідний сигнал поступає на ключовий підсилювач Amp., вихідний сигнал котрого u(t) подається через LC контур, та, при потребі, запалювальний пристрій, на лампу H1.

Регістр з лінійним зворотнім зв'язком (LFSR) складається із регістрів зсуву 1, на котрі поступають імпульси тактової частоти, та схеми зворотного зв'язку 2, що обчислює значення наступного біту, котрий і поступає на інформаційні входи регістра A та B. Як показано у [3], при деякому виборі точок відводу період послідовності сигналів, що генерується, буде максимальним і рівним 2^N - 1. У такому випадку, дискретна автокореляційна функція (ДАКФ) рівна:

$$K_S(d) = \lim_{Q\to\infty} \frac{1}{2Q} \sum_{n=-Q}^{Q} S(n)\overline{S(n-d)} = \begin{cases} 1 & \text{при } d = z\,M \\ -1/M & \text{при } d \neq z\,M \end{cases}, \qquad \text{(z - ціле число).} \tag{1}$$

Розглянемо неперервний сигнал u(t), що формується на основі згаданої вище дискретної послідовності, члени котрої слідують через інтервали часу ΔT і заповнюючого імпульсного сигналу q(t/ΔT), визначеного наступним чином:

$$q(\lambda) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } \lambda < 0 \text{ або } \lambda \geq 1 \\ q_0(\lambda) & \text{якщо } 0 \leq \lambda < 1 \end{cases}. \tag{2}$$

Заповнюючий сигнал q(t/ΔT) за межами інтервалу [0, ΔT] приймемо рівним нулю. Відмітимо, що сигнал q(t/ΔT) - кусочно сталий, а також обмежений. Так як схема синхронізується від єдиного джерела тактового сигналу, а період повторень ΔT заповнюючого сигналу q(t) обраний рівним інтервалу сталості сигналу S(n), то сигнал u(t) може бути представлений як послідовність заповнюючих сигналів q(t/ΔT) зсунутих на інтервали ΔTn та взятих із знаком відповідного члена послідовності S(n). Доведемо, що цей сигнал може також бути записаний у вигляді згортки:

$$u(t) = \lim_{L\to\infty} \int_{-L\Delta T/2}^{L\Delta T/2} q(\tau/\Delta T) \sum_{n=-L}^{L-1} S(n)\delta(t-\tau-\Delta T n)d\tau\,. \tag{3}$$

Так як q(t/ΔT) тотожньо рівний 0 за межами інтервалу [0, ΔT] то:

$$u(t) = \lim_{L\to\infty} \int_{0}^{\Delta T} q(\tau/\Delta T) \sum_{n=-L}^{L-1} S(n)\delta(t-\tau-\Delta T n)d\tau\,. \tag{4}$$

Змінюючи порядок інтегрування і сумування і користуючись фільтруючою властивістю дельта-функцій δ(t) маємо:

$$u(t) = \lim_{L\to\infty} \sum_{n=-L}^{L-1} S(n)q(t/\Delta T - n) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(n)q(t/\Delta T - n)\,. \tag{5}$$

Отже визначення u(t) через згортку тотожньо припасовуванню сигналів q(t/ΔT) зсунутих на інтервали ΔTn та взятих із знаком S(n). З останньої формули випливає що сигнал u(t) кусочно неперервний, кусочно сталий, а також обмежений. А так як послідовність S(n) періодична із періодом M, легко довести, що сигнал u(t) є теж періодичним із періодом T_u = ΔT M і може бути розкладений у ряд Фур'є на інтервалі

[-T_u/2, T_u/2] за частотами $\omega_k = \frac{2\pi k}{T_u} = \frac{2\pi k}{M\Delta T}$ із коефіцієнтами:

$$U(\omega_k) = \frac{1}{T_u}\int_{-T_u/2}^{T_u/2} u(t)\exp(-j\omega_k t)dt = \frac{1}{T_u}\int_{-T_u/2}^{T_u/2}\int_0^{\Delta T} q(\tau/\Delta T)\sum_{n=-\infty}^{\infty} S(n)\delta(t-\tau-\Delta T n)d\tau\exp(-j\omega_k t)dt \cdot \quad (6)$$

Враховуючі періодичність u(t) із періодом T_u маємо:

$$U(\omega_k) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T}\int_0^{\Delta T} q(\tau/\Delta T)\sum_{n=-\infty}^{\infty} S(n)\delta(t-\tau-\Delta T n)d\tau\exp(-j\omega_k t)dt\,. \quad (7)$$

Змінюючи порядок інтегрування і використовуючи фільтруючу властивість дельта-функції можна записати:

$$U(\omega_k) = \int_0^{\Delta T} q(\tau/\Delta T)\exp(-j\omega_k\tau)d\tau \lim_{L\to\infty}\frac{1}{2L\Delta T}\sum_{n=-L}^{L-1} S(n)\exp(-j\omega_k\Delta T n)\cdot \quad (8)$$

Позначимо розклад заповнюючої послідовності у ряд через $Q(\omega_k)$:

$$Q(\omega_k) = \frac{1}{\Delta T}\int_0^{\Delta T} q(\tau/\Delta T)\exp(-j\omega_k\tau)d\tau\cdot \quad (9)$$

тоді у наслідок періодичності S(n) із періодом M:

$$U(\omega_k) = Q(\omega_k)\lim_{L\to\infty}\frac{1}{2L}\sum_{n=-L}^{L-1} S(n)\exp(-j\omega_k\Delta T n) = \frac{Q(\omega_k)}{M}\sum_{n=0}^{M-1} S(n)\exp(-j\omega_k\Delta T n)\cdot \quad (10)$$

Розглянемо неперервну автокореляційну функцію (АКФ), котру запишемо для періодичного неперервного сигналу у наступній формі:

$$K_u(\tau) = \frac{1}{T_u}\int_{-T_u/2}^{T_u/2} u(t)\overline{u(t-\tau)}dt\cdot \quad (11)$$

Легко бачити, що при обмеженому u(t) функція $K_u(\tau)$ теж обмежена. Крім того у наслідок періодичності, кусочної неперервності і кусочної сталості, а також обмеженості сигналу u(t) АКФ може бути розкладена у ряд Фур'є за частотами ω_k . Коефіцієнти відповідного ряду, у такому випадку визначаються за формулою:

$$K_u(\omega_k) = \frac{1}{T_u^2}\int_{-T_u/2}^{T_u/2}\int_{-T_u/2}^{T_u/2} u(t)\overline{u(t-\tau)}\exp(-j\omega_k\tau)d\tau dt\,. \quad (12)$$

Вводимо заміну змінних і враховуючі періодичність підінтегрального виразу:

$$K_u(\omega_k) = \frac{1}{T_u^2}\int_{-T_u/2}^{T_u/2} u(\xi)\exp(-j\omega_k\xi)d\xi\,\overline{\int_{T_u/2}^{T_u/2} u(\eta)\exp(-j\omega_k\eta))d\eta} = U(\omega_k)\overline{U(\omega_k)}\,. \quad (13)$$

Підставивши в отриманий вище вираз визначення $U(\omega_k)$ маємо:

$$K_u(\omega_k) = \frac{Q(\omega_k)\overline{Q(\omega_k)}}{M^2}\sum_{n=0}^{M-1} S(n)\exp(-j\omega_k\Delta T n)\sum_{m=0}^{M-1}\overline{S(m)}\exp(j\omega_k\Delta T m)\,. \quad (14)$$

Перегрупуючи суми і провівши заміну індексу сумування m = n - p маємо:

$$K_u(\omega_k) = \frac{Q(\omega_k)\overline{Q(\omega_k)}}{M^2}\sum_{n=0}^{M-1}\sum_{p=-n}^{M-1-n} S(n)\overline{S(n-p)}\exp(-j\omega_k\Delta T p)\cdot \quad (15)$$

Так як S(n - p) та $\exp(-j\omega_k\Delta T p)$ періодичні за індексом p із періодом M, то:

$$K_u(\omega_k) = \frac{Q(\omega_k)\overline{Q(\omega_k)}}{M^2}\sum_{p=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{M-1} S(n)\overline{S(n-p)}\exp(-j\omega_k\Delta T p)\cdot \quad (16)$$

Використавши визначення дискретної автокореляційної функції, маємо:

$$K_u(\omega_k) = \frac{Q(\omega_k)\overline{Q(\omega_k)}}{M}\sum_{p=0}^{M-1}\exp(-j\omega_k \Delta T\, p)\begin{cases} 1 & \text{при } p = z\,M \\ -1/M & \text{при } p \neq z\,M \end{cases}, \text{ (z - ціле число).} \quad (17)$$

Так як 0≤p<M, $K_s(p)$ набуває значення 1 лише при p = 0, і:

$$K_u(\omega_k) = \frac{Q(\omega_k)\overline{Q(\omega_k)}}{M}\left(1 - \frac{1}{M}\sum_{p=1}^{M-1}\exp(-j\omega_k \Delta T\, p)\right). \quad (18)$$

Сума обчислюється як сума геометричної прогресії при $\exp(-j\omega_k \Delta T) \neq 1$, а при $\exp(-j\omega_k \Delta T) = 1$ вона рівна M-1. Так як $\exp(-j\omega_k \Delta T) = 1$ при $\omega_k \Delta T = 2\pi z$, де z - ціле число, то:

$$K_u(\omega_k) = \frac{Q(\omega_k)\overline{Q(\omega_k)}}{M^2} \times \begin{cases} M+1 & \text{якщо } \omega_k \Delta T \neq 2\pi z \\ 1 & \text{якщо } \omega_k \Delta T = 2\pi z \end{cases}, \text{ (z - ціле число).} \quad (19)$$

Звідки випливає, що, сигнал має амплітуду гармонік:

$$|U(\omega_k)| = \frac{|Q(\omega_k)|}{M} \times \begin{cases} \sqrt{M+1} & \text{якщо } \omega_k \Delta T \neq 2\pi z \\ 1 & \text{якщо } \omega_k \Delta T = 2\pi z \end{cases}, \text{ (z - ціле число).} \quad (20)$$

Оцінимо тепер гармоніки струму у LC- колі, що складається із конденсатора C1 дроселя L1 та лампи H1. Використаємо псевдолінійну модель розрядної лампи: будемо вважати, що омічний опір $R_л$ і провідність лампи $G_л$ "майже не змінюються" за період T_u, і залежать лише від середньоквадратичного значення струму за період T_u, з іншого боку миттєві значення напруги і струму пов'язані між собою лінійною залежністю:

$$i_л(t) = u_л(t)/R_л. \quad (21)$$

У такому випадку струм і напруга лампи мають амплітуди гармонік:

$$|I(\omega_k)| = \frac{C1\,\omega_k |Q(\omega_k)|}{\left|-C1\,L1\,\omega_k^2 + C1\,R_л\, j\,\omega_k + 1\right| M} \times \begin{cases} M+1 & \text{якщо } \omega_k \Delta T \neq 2\pi z \\ 1 & \text{якщо } \omega_k \Delta T = 2\pi z \end{cases}, \quad (22)$$

$$|U_л(\omega_k)| = \frac{R_л\, C1\,\omega_k |Q(\omega_k)|}{\left|-C1\,L1\,\omega_k^2 + C1\,R_л\, j\,\omega_k + 1\right| M} \times \begin{cases} M+1 & \text{якщо } \omega_k \Delta T \neq 2\pi z \\ 1 & \text{якщо } \omega_k \Delta T = 2\pi z \end{cases}, \text{(z - ціле число).} \quad (23)$$

Сигнал q(t) може бути обраним широкополосним, у такому випадку сигнал u(t) теж буде широкополосним, а так як $M = 2^N - 1$, то при збільшенні розрядності регістра LFSR на 2 розряди амплітуда гармонік напруги падає приблизно у 2 рази.

Тому обравши розрядність регістра значною можна зробити амплітуду гармонік на небезпечних частотах меншою за наперед задану величину і практично повністю позбавитись від акустичного резонансу при використанні високочастотного живлення розрядної лампи високого тиску.

Література

1. Панфилов Д.И., Поляков В.Д., Поляков Ю,Д., Барышников А.Н. Электронные пускорегулирующие аппараты для трубчатых люминесцентных ламп // Инженерная микроэлектроника. – 1999. - № 2. - С. 18-22.

2. Аналіз методів та схем запобігання виникненню явища акустичного резонансу в газорозрядних лампах високого тиску / Медвідь В., Белякова І., Пісьціо В. // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій: матеріали міжнародної науково-технічної конференції до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100-річчя з дня смерті), (Тернопіль, 23–24 травня 2018 року) - Тернопіль: ТНТУ, 2018. – С. 259-260.

3. Системы связи с шумоподобными сигналами. Варакин Л.Е. - М.: Радио и Связь, 1985 - 384 с.

УДК 628.953

Володимир Медвідь, Ірина Белякова, Вадим Пісьціо
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

РОЗРАХУНОК СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ НОСІЇВ ЗОВНІШНЬОЇ РЕКЛАМИ

Проаналізовані методи розрахунку кількості світлодіодних модулів та їх розташування в конструкціях світильників та рекламних носіїв.

Ключові слова: світлодіод, рекламний носій, світлова літера, світність, світлодіодний модуль.

Volodymyr Medvid, Iryna Beliakova, Vadym Piscio

CALCULATION OF THE LIGHTING ELEMENTS OF LIGHTING FOR OWNERSHIP OF EXTERNAL ADVERTISING

The methods of calculating the number of LED modules and their location in the designs of fixtures and advertising media are analyzed.

Key words: LED, advertising media, light letter, luminosity, LED module.

Останнім часом в якості елементів підсвічування конструкцій зовнішньої світлової реклами майже завжди використовуються світлодіодні джерела світла, до яких відносяться світлодіодні модулі, світлодіодні стрічки, світлодіодні лінійні лампи та ін.

Тому, актуальним залишається вибір оптимального типу світлодіодних джерел світла, розрахунок їх кількості та розташування в конструкції світильника чи рекламного носія як за світловими параметрами, так і експлуатаційно-ціновими (термін використання, ціна).

Для цього використовуються як результати практичних досліджень, проведені з різними типами світлодіодів при підсвічуванні зсередини простих конструкцій (наприклад, прямокутних світлових коробів) та конструкцій складних форм (світлові літери, логотипи та ін.) [1], так і розроблене для цих цілей спеціалізоване програмне забезпечення.

В якості об'єкту експериментальних досліджень в [1] був обраний короб 1х1 м глибиною 140 мм з світлорозсіюючою поверхнею з молочного акрилового пластику 4-х міліметрової товщини. Таким чином, всі представлені дані справедливі для поверхні розміром 1 кв. м., що є у більшості випадків основою для розрахунків.

Для внутрішнього підсвічування такого короба використовувалися, в тому числі, 2-х діодні та 3-х діодні модулі з smd світлодіодами.

Отримані експериментальні результати показують перевагу 3-х діодних smd модулів за всіма показниками. Встановлено, що для рівномірного підсвічування фасадної поверхні короба потрібно до 70 шт таких модулів, а їх ефективність становить 45…50 лк/Вт.

Вартість 1 лк від кожного з досліджуваних джерел світла виявилася також найменшою для 3-х діодні smd-модулів (наприклад, smd 2835, що має потужність 1,5 Вт, кут розсіювання 160^0, світловий потік 120-130 лм).

Прорахунок кількості модулів для коробів зі складною конфігурацією (різних товарних знаків і об'ємних літер) зробити складніше, тому що потрібно використовувати програми, наприклад Corel Draw, Autocad або інші, з модулем для обчислення площі.

Для цих розрахунків необхідно:

1) виміряти площу, наприклад, світильника чи літери відповідною програмою;

2) знаючи кількість модулів для 1 кв. м., отримані значення площі множити на цю величину;

3) отримати розрахункову кількість модулів в кожній окремій літері, яка забезпечить світність її поверхні, рівну 2500…3000 лк.

Але для того, щоб світіння поверхні вийшло рівномірним, необхідно правильно розмістити модулі всередині літер. Це залежить, в основному, від розмірів літер і складності шрифту.

Необхідно також пам'ятати, що при зменшенні глибини короба або літер освітленість його лицьової поверхні, відповідно, збільшиться.

Для проведення розрахунків кількості модулів з більш високою точністю використовують спеціалізовані програми, прикладом яких є система ELF WIZARD 3.0, за допомогою якої можна здійснити розрахунок кількості та оптимально розташувати вибрані світлодіодні модулі із заданою кінцевою яскравістю [2].

А інтегрування цієї програми у програму для економічних розрахунків Bon Sens дозволяє відразу порахувати вартість всього проекту.

Інтерфейс програми показаний на рис.1.

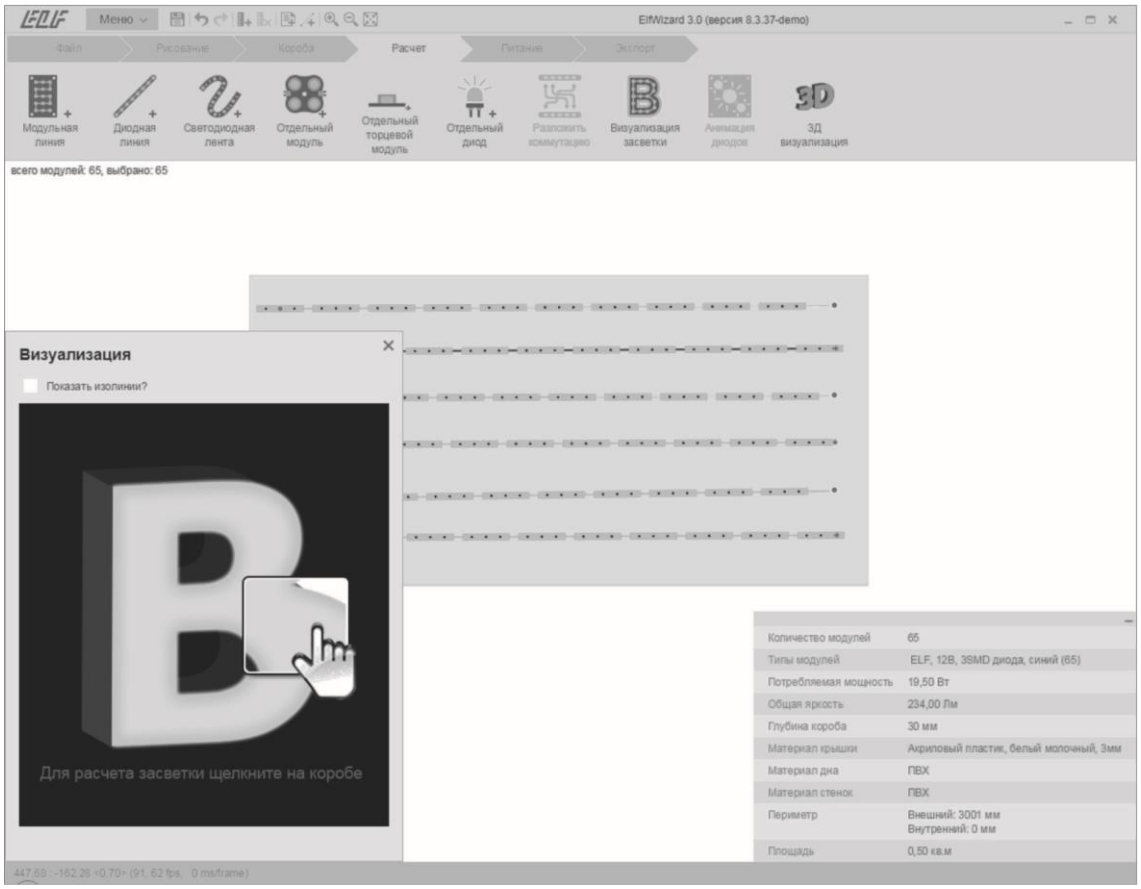


Рис. 1. Інтерфейс програми Elf Wizard для розрахунку кількості світлодіодних модулів та їх розташування в конструкції світлового короба

Даний програмний продукт містить широкий асортимент «оцифрованих» світлодіодних джерел світла, в тому числі значну кількість сучасних світлодіодних модулів, що відносяться до цього асортименту.

Він дозволяє розраховувати розподіл світлових потоків від кожного світлодіодного модуля всередині короба чи літери, враховуючи при цьому відбиваючі і розсіюючі властивості внутрішніх поверхонь короба, а також світлопропускання, перевідбивання і розсіювання лицьового матеріалу.

Для розрахунку світлової вивіски з необхідним рівнем світності лицьового матеріалу необхідно виконати наступне:

1) вказати глибину короба (літери);
2) вибрати матеріали, з яких виготовлений короб (літера);
3) задати бажану кінцеву яскравість.

Після чого програма автоматично виконає наступне:

1) розставить модулі за світлотехнічними параметрами;
2) здійснить підбір джерела світла, виходячи з заданих параметрів вивіски;
3) потужність кожного елемента рекламної конструкції;
4) здійснить підбір оптимального джерела живлення;
5) здійснить розташування модулів різними способами та ін.

Програма також показує рівномірність засвічування поверхні світильника в реальному часі. Можна змінювати розташування модулів у вивісці, програма розраховує яскравість в зазначеній точці, показує можливі плями, засвічування і ін. (рис. 2).

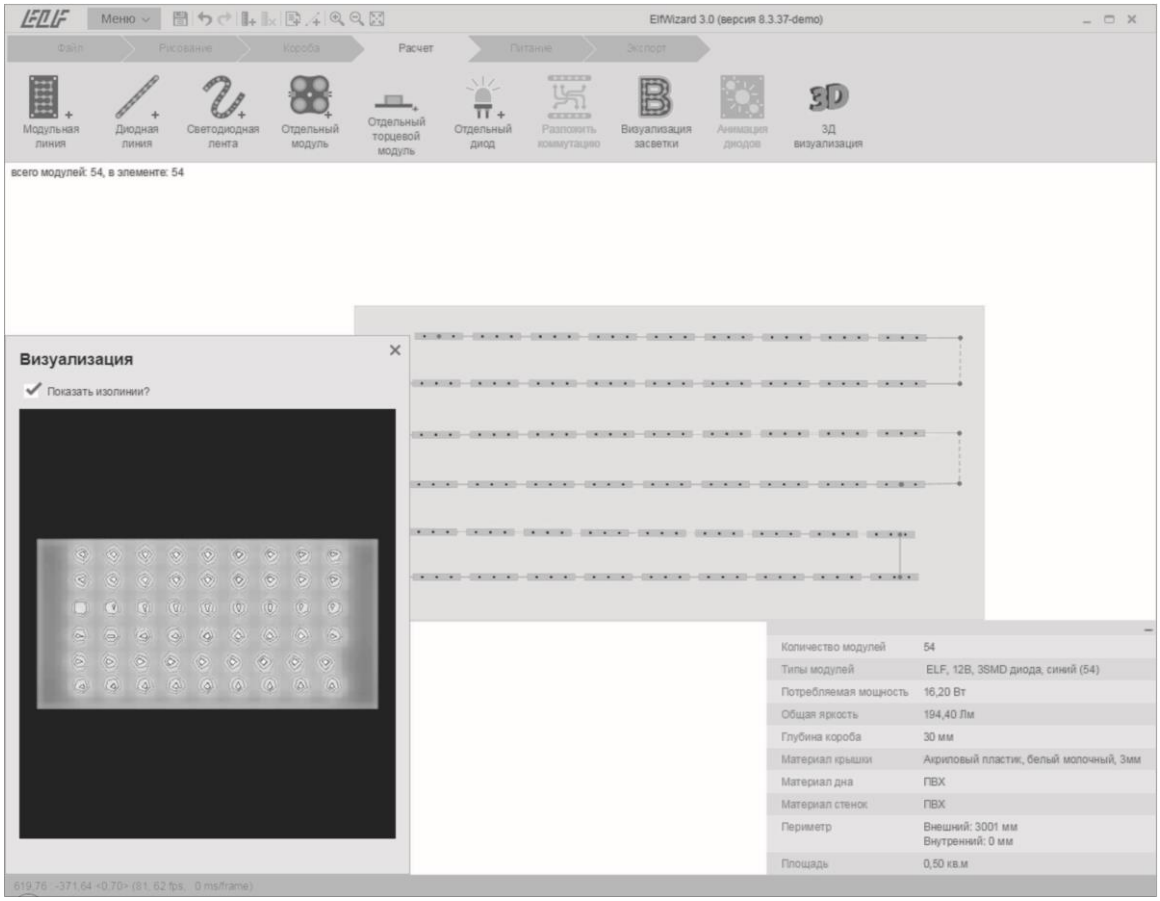


Рис. 2. Результати роботи програми Elf Wizard при розрахунку розташування світлодіодних модулів для засвічування світлового короба

Ще одним програмним продуктом для розрахунку кількості та розташування світлодіодних модулів в рекламних конструкціях є плагін для Corel Draw - додаток

CalcuLed. Серед параметрів, що впливають на розташування модулів - це їх тип, а також глибина рекламної конструкції. Чим більша глибина конструкції, тим з більшим кроком можна розставити світлодіодні модулі, і навпаки. Також, чим більший світловий потік, що випромінюється світлодіодом, тим далі від лицьової поверхні він повинен розташовуватися, щоб уникнути засвічування «плямами».

Для швидкого розташування потрібен тільки вихідний векторний файл і інформація про глибину конструкції (від 50 до 250 мм).

При використанні додатку отримаємо:

1) кількість і вид світлодіодних модулів;
2) кількість необхідних блоків живлення;
3) світність лицьової поверхні рекламної конструкції;
4) споживану потужність;
5) загальну вартість всіх комплектуючих для підсвічування.

Програма володіє функцією редагування. Можна самостійно змінити кількість і місце розміщення світлодіодних модулів.

В результаті, додаток зробить перерахунок необхідної кількості блоків живлення і вартості комплектуючих.

Ще один програмний продукт, який використовується для розрахунку світлодіодних модулів – це плагін eCut для CorelDraw.

eCut використовується для підготовки файлів для плотерної чи фрезерної порізки, розрахунку вартості робіт, а також безпосереднього виводу проекту на плотер. Також, програма володіє функціями для розрахунку світлових вивісок, побудови касет із композитних матеріалів, тощо [4].

Програма дозволяє визначити споживану потужність і вартість модулів, однак має суттєвий недолік - у програмі не можна розрахувати розподіл яскравості за поверхнею вивіски та підібрати розташування і типи світлодіодів для отримання необхідної яскравості.

Література

1. Светодиодная подсветка для световой рекламы и бытового освещения. Расчет наполнения объемной световой буквы. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://adex.ru/articles/svetodiodnaya-podsvetka-dlya-svetovoy-reklamy-i-bytovogo-osveshcheniya-raschet-napolneniya-obemnoy-s/
2. Веб-сторінка рекламної компанії «ELF». [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.elf-led.com.ua/raschet_vyveski/
3. CalcuLed – быстрый и простой способ автоматической расстановки светодиодов в рекламных конструкциях. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.signbusiness.ru/publications/products/2894-calculed-bystryi-i-prostoi-sposob-avtomaticheskoi-rasstanovki-svetodiodov-v-reklamnyh-konstruktsiyah.php.
4. Програма eCut6. Файл для завантаження. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.e-cut.ru/index.php.

УДК. 621.311

І.А. Немировський,к.т.н., ст. н.сп., О.В. Булгаков
Національний технічний Університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Give an analysis of distribution of thermal losses in building, dependence of reduction of energy consumption from the thickness of layer of isolation, influence on energyefektshion, on economic, ecological and social factors.

Keywords: heat ray, building, energyaudit,

Вступ. Питання термомодернізації будівель, згідно з Законом України «Про енергоефективність будівель». є одним з ключових напрямків зниження споживання енергоносіїв. Автором починаючи з 2008 року проводилися роботи по розрахункам та розробці енергопаспортів будівель. Дана публікація представлена на підставі аналізу результатів значної кількості об'єктів різного призначення . На розподіл тепловтрат елементами оболонки будівлі впливає багато факторів, тому попереднє візуальне обстеження має важливе значення для подальших рекомендацій.

Основна частина

Аналіз тепловтрат елементами огороджуючих конструкцій сучасних будівель, проведений на підставі даних енергоаудитів при розробці енергопаспортів, на прикладі шкіл та багатоквартирних будинків свідчить о значних трансмісійних втратах крізь огороджуючи конструкції. У середньому розподіл втрат для загальноосвітніх шкіл має розподіл, представлений на діаграмі рис.1

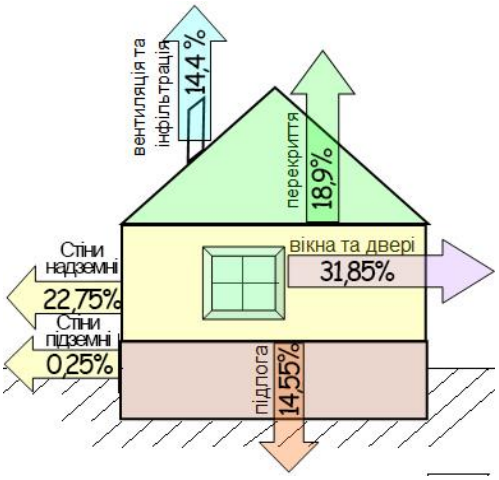


Рис. 1. Розподіл трансмісійних втрат крізь огороджуючи конструкції

При середньому співвідношенню конструктивних елементів оболонки:

$$\frac{\text{Площа скління}}{\text{площа непрозорих стінових конструкцій}} = 0{,}3 - 0{,}7$$

$$\frac{\text{площа непрозорих стінових конструкцій}}{\text{загальна площа огоролдуючих конструкцій}} = 0{,}3 - 0{,}4$$

На рис.2 (а, б) представлено характер розподілу трансмісійних втрат для житлових цегельних (рис.2а) та панельних (рис.2б) будинків забудови 60-х років. При цьому по всіх елементах зовнішньої оболонки термічний опір значно нижче сучасних вимог.

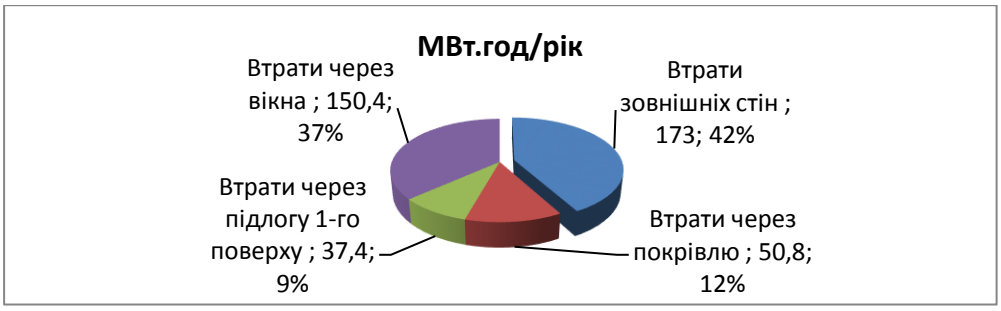


Рис. 2.а

Як що подивитися уважно на розподіл втрат, то найбільші з них це втрати крізь вікна та надземні стіни. Незважаючи на встановлення сучасних пластикових вікон та меншу їх площу відносно стін, втрати крізь них близькі до втрат крізь зовнішні непрозорі частини стін (на рис.2б представлено данні по будинку з дерев'яними типовими вікнами 60-х років). Таким чином, термомодернізація стін, що на даному етапі пропонується, як основне джерело зменшення тепловтрат, дозволить лише частково зменшити втрати теплоти будівлі.

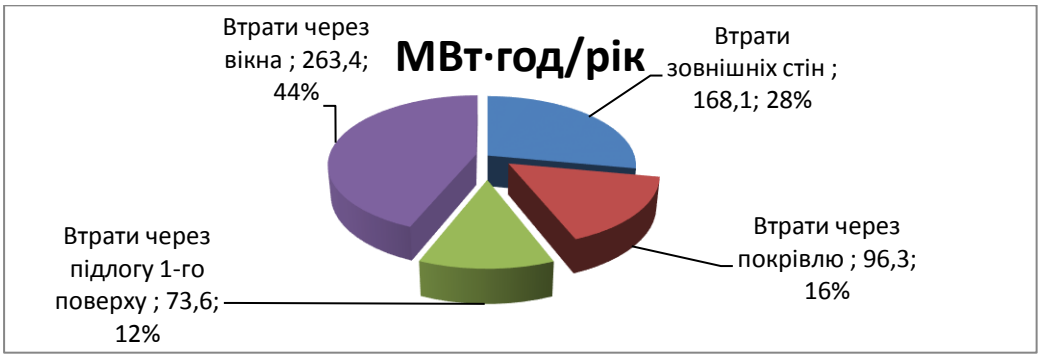


Рис. 2,б

Розглянемо, як вплине на долю зменшення тепловтрат, а відповідно і зменшенню споживання теплоенергії на обігрів приміщень, вибір товщини ізоляції непрозорих стінових конструкцій на прикладі однієї з шкіл. Загальний вигляд її представлено на рис.3

Рис. 3. Загальний вигляд будівлі школи

Термічний опір стін складає R_1=0,77м^2·К/Вт. Загальне тепло споживання, з урахуванням тепло надходжень – 788844 кВт·год/рік. Доля, яка приходиться на стіни – 22,75% від загального тепло споживання. Тобто – 179462кВт·год/рік. Площа стін без урахування світлопрозорої частини – 928 м^2. Температура у приміщені +21^{0}С, зовнішня –(-22^{0}С), теплопровідність утеплювача - ƛ=0,04 Вт/м·К.

Після утеплення термічний опір розраховується за виразом $R_2 = R_1 + \frac{\delta}{\lambda}$, а питоме споживання $\Delta q = (\frac{1}{R1} - \frac{1}{R2})\Delta t$. У табл.1представлені результати розрахунків.

Табл. 1. Результати розрахунків питомих тепловтрат

δ,м	0,01	0,02	0,03	0,04	0,5	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12
ΔqВт/м^2	13,12	21,03	26,3	30,14	33,0	35,6	37,02	38,5	40,14	40,75	41,62

На рис.4 приведені результати розрахунків зниження питомої тепловтрати за рахунок втілення теплоізоляції.

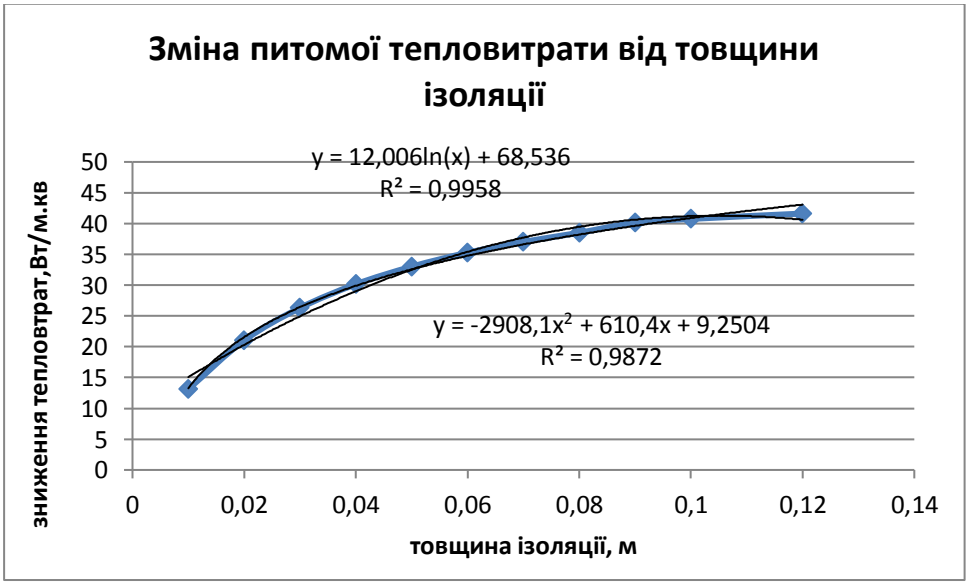


Рис. 4. Результати розрахунків зниження питомої тепловтрати за рахунок втілення теплоізоляції.

Аналіз отриманих даних свідчить, що найбільше задовольняє логарифмічна залежність, коефіцієнт кореляції якій вище ніж при поліномній:

$$У=12,006\ln(x)+68,536$$

Також графік показує, що починаючи з товщини утеплювача 100мм подальше збільшення товщини не має сенсу.

Оцінимо зниження тепловтрат при товщині утеплювача 100мм. Площа непрозорих стінових конструкцій будівлі школи (рис.3) складає 928м^2.

$$Q= 40,75\cdot928\cdot3750=141810 \text{ кВт·год, або } 121,934 \text{ Гкал,}$$

Що складе 15,5% від загальної тепло потреби для розглянутого будинку (рис.1).

Вартість утеплення згідно рекомендаціям – 510 грн/м.кв. Витрати становлять 510х928 = 473280 грн. Вартість 1Гкал для цього об'єкту – 1591грн/Гкал. Економія складе – 121,934·1591=193996,994грн. Простий термін окупності Т=2,44 роки.

У той же час впровадження заміни елеваторних вузлів на примусову циркуляцію теплоносія із зворотного трубопроводу з встановленням автоматики погодного регулювання та насосу з ЧРП мають окупність до одного року та зменшують споживання теплоенергії від 20 до 40%.

Висновки

Термомодернізація будівель є одним з заходів по зниженню споживання енергоносіїв. Тому рекомендується одночасно впровадження низки заходів, що значно впливають на зменшення споживання енергії. Підвищення класу енергоефективності будівель має наступні переваги:

1. Енергоощадні заходи**,** дозволять знизити розрахункові річні обсяги споживання палива та електроенергії, так як наявність утеплювача у літній період дозволяє знизити тепло надходження від сонячної радіації;
2. Соціальні:
   - поліпшення комфорту, зменшення кількості захворювань;
   - популяризація впровадження енергозберігаючих заходів, а також формування ощадливого ставлення до використання енергії; у учнів, відвідувачів, працівників закладу, місцевої громади;
   - змінить зовнішній вигляд будівлі на кращій, що збільшить оцінку місцевої громади щодо діяльності місцевої адміністрації на користь мешканців населеного пункту в цілому.
3. Екологічні**,** наслідком впровадження енергозберігаючих заходів призводе до зниження емісії CO_2 у навколишнє середовище;
4. Технічні**,** Виконання утеплення та оздоблення будівлі зовні сучасними будівельними матеріалами значно зменшить вплив зовнішнього середовища на зовнішні огороджуючи конструкцій будівлі, що призведе до збільшення терміну її експлуатації та зменшення витрат коштів на капітальні ремонти.

УДК 621.311

Богдан Оробчук, к.т.н., доц., Ігор Гаврилюк
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ВИСОКОВОЛЬНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Виконано аналіз системи електропередач постійного струму, її використання в енергетиці України та переваг застосування у порівнянні з лініями змінного струму.

Ключові слова: електропередача постійного струму, вставка постійного струму, електрична мережа, електроенергетична система, лінія електропередач.

Orobchuk Bohdan, Ihor Havryliuk

ANALYSIS OF ADVANTAGES HIGH-VOLTAGE POWER LINES TRANSMISSION OF DIRECT CURRENT

Analysis performed of DC power system, its use in the energy sector of Ukraine and the advantages of using compared with AC lines.

Keywords: electric transmission of direct current, DC insert, electric network, electric power system, electric transmission line.

Традиційні високовольтні лінії електропередачі сьогодні функціонують, незмінно використовуючи змінний струм. Але зараз уже часто ставлять питання про переваги, які може дати високовольтна ЛЕП постійного струму в порівнянні з ЛЕП змінного струму.

Передача електроенергії у всіх країнах світу здійснюється переважно трифазним змінним струмом 50 Гц або 60 Гц, що можна пояснити наступними причинами. Основними споживачами є електроприводи різних механізмів, для яких застосовують прості і надійні трифазні асинхронні двигуни. Обертове електромагнітне поле - природня властивість трифазної системи. Виробництво електроенергії технічно можливо як генераторами змінного струму, так і постійного, робоча напруга яких обмежена з конструктивних міркувань до 30 кВ. Для забезпечення економічності передачі електроенергії на далекі відстані необхідна напруга, що значно перевищує номінальну напругу генераторів, а безпосередня трансформація постійного струму неможлива. Тому підвищення напруги при великих струмах можливе тільки за допомогою явища електромагнітної індукції і трансформаторів, що створює можливість для подальшої ефективної передачі електроенергії змінним струмом. Споживання електроенергії здійснюється на відносно низькій напрузі – сотні і тисячі вольт. Тому на приймальному кінці електропередачі необхідно знову використовувати трансформаторні пристрої. Змінний струм виявив свої переваги після винаходу трансформатора. В результаті виробництво, передача і споживання здійснюється, як правило, на змінному струмі [1].

Для передачі електроенергії постійним струмом споруджуються випрямні підстанції - випрямлячі (ВПС) на кінці жиивлення електропередачі, яка перетворює після трансформації на високу напругу змінний струм в постійний з незначними пульсаціями з подальшою передачею електроенергії на необхідну відстань, і інверторна підстанція (ІПС) на змінному струмі зі зворотним перетворенням постійного струму в змінний для трансформації на низьку напругу.

На рис. 1 приведено спрощену схему, яка пояснює склад головних елементів і загальний принцип роботи лінії постійного струму. Для забезпечення роботи перетворювальних підстанцій необхідна значна реактивна потужність (приблизно 50%

від переданої активної). Ця потужність повинна покриватися наявними в системі генераторами і джерелами реактивної потужності (ДРП), компенсуючими пристроями великої потужності, що встановлюються поблизу від споживачів. Для згладжування пульсації струму і обмеження швидкості при пошкодженні в лінію включають реактори [2].

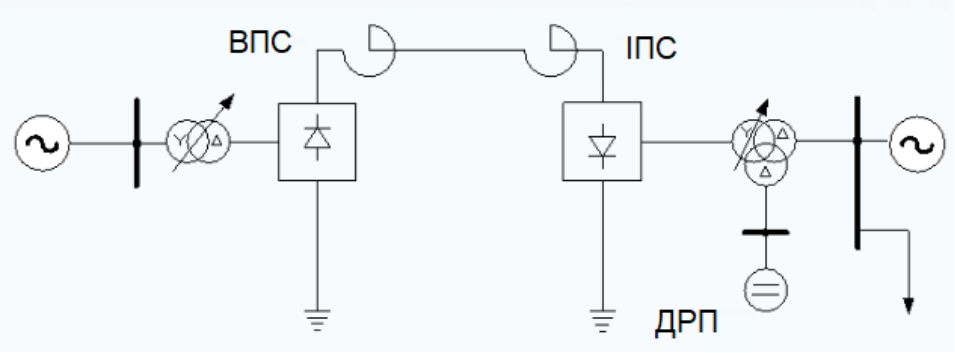


Рис. 1. Принципова схема електропередачі постійного струму

До теперішнього часу не створені задовільної конструкції вимикачі постійного струму високої напруги. Відключення лінії постійного струму (ЛПТ) проводиться закриттям вентилів ВПС. Тому електропередача постійного струму має блокову схему: ВПС - ЛПТ - ІПС без приєднання інших ІПС в проміжних пунктах лінії. Технічна складність здійснення розгалужених ліній електропередачі постійного струму викликана особливостями їх режимного регулювання, забезпечення стійкості, необхідністю локалізації аварії і ін.

З ряду якостей ліній постійного струму можна виділити особливу: електропередачею постійного струму можливе з'єднання електроенргетичних систем (ЕЕС) з різною частотою, тобто можливо виконати несинхронний зв'язок різних систем і, зокрема, передачу потужності від ГЕС при знижених тиску і частоті, об'єднання мало-потужної системи з більш потужною без заміни обладнання за параметрами режиму короткого замикання.

Наявність двох підстанцій (випрямної і інверторної) - дорогих і складних в експлуатації - стримує широке застосування ліній постійного струму. Застосування постійного струму для передачі електричної енергії може бути альтернативою змінному струму для наддалеких ліній (від 1500 км і вище та передачі потужності від 2000 МВт). Електропередачі постійного струму меншої протяжності можна застосувають при вирішенні технічних завдань формування об'єднаних енергосистем, які не можливо вирішити за допомогою електропередач змінного струму (забезпечення стійкості паралельної роботи, несинхронний зв'язок ЕЕС великої потужності, кабельні лінії великої протяжності), а так само в тих випадках, коли спорудження повітряних і кабельних ліній ЛЕП змінного струму економічно недоцільно, наприклад, для перетину морського простору [3].

Наявність зазначених властивостей може послужити поштовхом до більш широкого застосування технології високовольтних передач постійного струму. Перетоки потужності через лінію передачі постійного струму регулюються за рахунок використання систем управління або перетворювальних підстанцій. Перетоки потужності не залежать від режиму роботи підключених енергетичних систем.

Таким чином, на відміну від ліній змінного струму, що зв'язують дві енергосистеми, міжсистемні зв'язки ліній постійного струму можуть мати як завгодно низьку пропускну здатність, виключаючи проблему слабких зв'язків, і самі лінії можуть проектуватися з урахуванням оптимальних перетоків потужності.

Крім цього, виключені проблеми синхронізації різних систем оперативного управління в різних енергетичних системах. Високошвидкісні системи аварійного управління на високовольтних лініях постійного струму ще більше збільшують стійкість і надійність всієї енергосистеми. Більш того, регулювання перетоків потужності може бути використано для усунення коливань в енергосистемах або на високовольтних лініях змінного струму, що працюють паралельно.

Ефективність застосування далеких передач постійного струму обумовлена не тільки підвищенням стійкості міжсистемних зв'язків, але також низькими втратами активної потужності, зменшенням розмірів конструкцій біполярної лінії в порівнянні з трифазною повітряною лінією при однаковій потужності (рис. 2), відсутністю обмежень по довжині передачі і можливістю швидкого регулювання величини потужності та напрямку її передачі за рахунок оборотності випрямлячів в інвертори і навпаки.

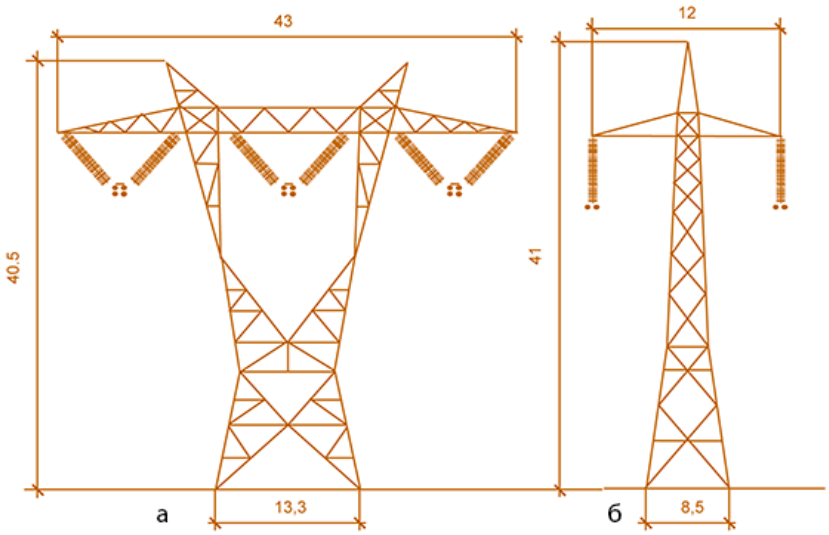


Рис. 2. Порівняння опор ПЛ 800 кВ змінного струму (а) і ПЛ ±500 кВ постійного струму (б) для однакової потужності, що передається (розміри вказані в метрах)

Література

1. Аналіз усталених режимів об'єднань електроенергетичних систем зі вставками постійного струму // Технічна електродинаміка. Проблеми сучасної електротехніки. – Київ – 2010.

2. Карлссон Л. Высоковольтные линии постоянного тока (HVDC).«Межсетевой экран» для борьбы с аварийными ситуациями в высоковольтных сетях.– АББ Ревю 3/2005.

3. Шидловський А.К., Перхач В.С., Скрипник О.І. Енергетичні системи з електропередачами та вставками постійного струму / Під ред. Кузнецова В.Г. – К.: Наукова думка, 1992.

УДК 621.311

Богдан Оробчук, к.т.н., доц., Тарас Дзьобко
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕКОМУНКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГГІЙ В СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

Розглянуто застосуваня телекомунікаційної технології PLC (Power Line Communication), яка базується на використанні силових електромереж для високошвидкісного інформаційного обміну.

Ключові слова: телекомунікаційні технології, силові електромережі, комерційний облік електроенергії, PLC-модеми.

Bohdan Orobchuk, Taras Dzobko

USE OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES IN POWER ELECTRIC NETWORKS

The application of telecommunication technology PLC (Power Line Communication), which is based on the use of power electric networks for high-speed information exchange.

Keywords: telecommunication technologies, electric power networks, commercial electricity accounting, PLC modems.

Основою технології PowerLine є використання частотного поділу сигналу, при якому високошвидкісний потік даних розбивається на декілька відносно низько швидкісних потоків, кожний з яких передається на окремій частоті, з наступним їхнім об'єднанням в один сигнал [1]. PLC-зв'язок (або зв'язок низьковольтною мережею) здійснюється безпосередньо мережевими дротами 0,4 кВ. Це своєрідна траса для передачі даних від лічильника до пульта контролера. При цьому контролерові зовсім не потрібний доступ в приміщення – необхідна інформація автоматично або за запитом передається на необхідний рівень автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), розміщеної в енергозбутовій компанії. Крім того, використання PLC-технології дає можливість виявляти факти розкрадань електроенергії, повідомляти про них, і, при необхідності, дистанційно відключати подачу електроенергії "неплатникам" [2].

До переваг автоматичних систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) на основі лічильників «Енергоміра» з PLC-модемом можна віднести:

- низькі витрати на розгортання системи (немає необхідності в прокладці додаткових ліній зв'язку, лічильник готовий до передачі даних з моменту включення в мережу);
- високий рівень захищеності ліній зв'язку (мережа 0,4 кВ) від руйнівних дій;
- немає обмежень по розміщенню лічильника;
- можливість опиту віддалених лічильників і лічильників, розташованих на зашумленних лініях, за рахунок механізму автоматичної ретрансляції;
- висока надійність, завадодозахищеність і живучість системи збору даних за рахунок наявності альтернативних маршрутів проходження інформації;
- двосторонній канал зв'язку з лічильником, що дає можливість дистанційного керування і зміни параметрів.

Ми пропонуємо до розгляду розроблену автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії котеджного містечка**.** На вводі житлових будівель абонентів встановлюються лічильники CE102 з вбудованими PLC-модемами, а також трифазні електронні лічильники CE303 (CE301) з вбудованими PLC-модемами. Пристрій збору

і передачі даних УСПД-164-01М, який розташований в шафі АСКОЕ в приміщенні трансформаторної підстанції, автоматично отримує інформацію від електронних лічильників абонентів низьковольтними електричними мережами (0,38 кВ) за допомогою стаціонарних PLC-модемів CE832C4, встановлених на кожній з фаз ліній живлення.

У приміщенні трансформаторної підстанції встановлюються трифазні багатотарифні прилади обліку CE303 (CE301), що мають клас точності 0,5 (1,0), які забезпечують сумарний облік кожною відхідною лінією. Збір інформації на УСПД 164-01М здійснюється фрагментом локальної промислової шини EIA485.

УСПД-164-01М здійснює автоматичний збір інформації з приладів обліку, виконує функцію синхронізації часу в підключених лічильниках, а також забезпечує Центру збору і обробки інформації (ЦСОІ) доступ до накопичених даних. В якості каналів передачі інформації в ЦСОІ можливе використання виділених і комутованих телефонних ліній, каналів зв'язку стандарту GSM, а також локальної мережі Ethernet.

Характерною особливістю пропонованого рішення є наявність вбудованого механізму автоматичної ретрансляції даних в мережі 0,4 кВ (до 7 рівнів), при якому кожен лічильник може бути ретранслятором (рис. 1).

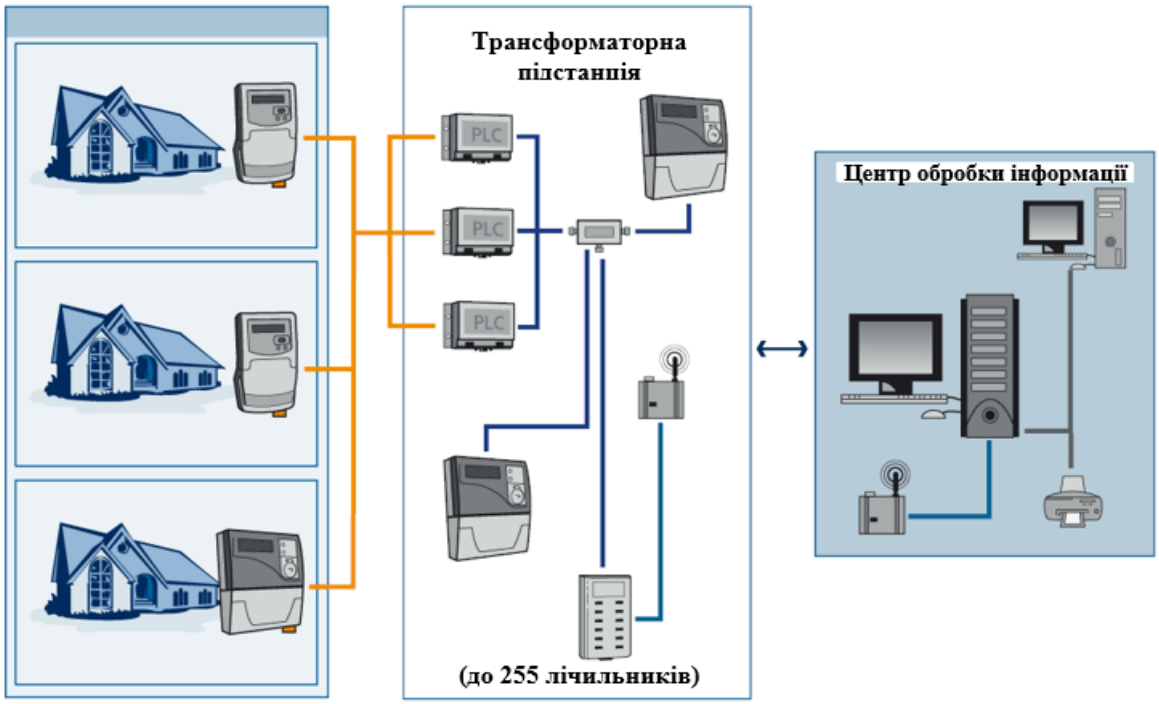


Рис. 1. Схема побудови АСКОЕ котеджного містечка з використанням PLC-технології

Збір інформації здійснюється безпосередньо на переносний персональний комп'ютер (Notebook) з подальшим перенесенням інформації в базу даних центру збору і обробки інформації (резервний канал зв'язку).

Організація функції управління навантаженням споживачів здійснюється за наступними алгоритмами:

1) ручне дистанційне керування навантаженням споживачів (0,4 кВ) (відключення/включення) за командою оператора АСКОЕ;

2) автоматичне відключення навантаження за таймером приладу обліку з прив'язкою до внутрішнього добового тарифного розкладу;

3) здійснення автоматичних відключень в разі перевищення заданого ліміту потужності (енергії) з прив'язкою до внутрішнього добового тарифного розкладу.

Розповсюдженість електричних мереж 220-380 В, відсутність необхідності проведення дорогих робіт з прокладання кабелів привертають увагу до цих мереж як до середовища передачі даних. Існує кілька технологій широкосмугового доступу в Інтернет (xDSL, Wi-Fi і ін.), Але жодну з них поки не можна назвати "ідеальною технологією останньої милі".

Переваги передачі даних електромережами визначаються тим, що мережа може бути розгорнута на будь-якій ділянці, на якій є лінії електропостачання. Особливо приваблива ця технологія для домашніх мереж і невеликих офісів.

Устаткування для організації мереж на основі PLC-технології відрізняється простотою в експлуатації і освоєнні. В залежності від поставлених завдань завжди є можливість вибрати оптимальне рішення з тієї множини, що пропонується на ринку, або створити свою власну на базі мікросхем для PLC.

Література

1. Pablo Gagliardo. Take advantage of power line communications in nextgen home networking & IPTV designs. — CommsDesign. 2009 (http: // www.commsdesign.com/article/printableArticle.jhtml?articleID =2173008 50)

2. Охрименко В. Р. Технологии передачи данных по электросетям, часть 2 // Электронные компоненты и системы. - 2009. - №9. - С .18 - 25.

УДК 621.321

Я.М. Осадца, к.т.н., Б.А. Саханевич, С.Ю. Поталіцин
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

СТАБІЛІЗАЦІЯ ВЕЛИЧИНИ ПУСКОВОГО СТРУМУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розглянуто проблему пускових струмів для світлодіодних освітлювальних приладів. Наведено основні методи її вирішення.

Ключові слова: світлодіод, світловий прилад, пусковий струм, автоматичний вимикач.

Osadtsa Yaroslav, Sakhanevych Borys, Potalitsyn Serhii

STABILIZATION OF THE STARTING CURRENT OF SEMICONDUCTOR LIGHT DEVICES: THE PROBLEM'S FORMULATION

The problem of a starting currents for LED lighting devices was considered. The main methods of its solution are given

Keywords: LED, lighting device, starting current, automatic switch.

По мірі розвитку електроспоживання, модернізовувались і системи електропостачання промислових підприємств, включаючи схеми розподільчих мереж та мережі різних класів напруг та потужностей. При цьому стало необхідним забезпечити раціональне, а головне економічно-вигідне використання та розподілення електроенергії. Виникла необхідність автоматизації систем електропостачання та виробничого процесу, та впровадження заходів по економії електроенергії.

Вагоме значення займають, вже звичні для нас, системи штучного освітлення. Встановлення правильного та ефективного світлового середовища є одним з ключових аспектів покращення умов роботи чи побуту, зниження зорового навантаження та забезпечення необхідної гостроти зору, кольоропередачі та ясності бачення. При цьому вибрана система освітлення, джерела світла та системи керування повинні бути енергоефективними та враховувати економічний фактор.

На даний час в системи освітлення широко впроваджуються напівпровідникові джерел світла. В порівнянні із тепловими та розрядними джерелами світла вони мають наступні переваги: вища світлова віддача, більший термін служби, екологічність, не потребують додаткового часу на перезапалювання. Тому використання світлових приладів на основі напівпровідникових (LED) джерел світла є ефективним способом вирішення питань раціонального використання електроенергії в освітлювальних системах та забезпечення необхідного світлового середовища.

Однак, для напівпровідникових світлових приладів, які живляться від мережі змінного струму необхідним є застосування спеціальної пускорегулювальної апаратури (драйвера), схемні рішення якого вимагають використання конденсатора для згладжування пульсацій світлового потоку. Завдяки цьому, при ввімкненні світлодіодного світильника виникає різке збільшення споживаного струму, що може призвести до спрацювання апарату захисту та неможливості увімкнення як окремого світлового приладу , так і групи світильників. Традиційними методами вирішення такої проблеми для групи світильників є: використання автоматичних вимикачів з вищою струмо-часовою характеритискою або зменшення кількості світлових приладів в групі. Проте застосування таких методів є не завжди доцільним через можливу невідповідність нормам по струму короткого замикання для проводів електричної мережі. Тому в роботі було розглянено та проаналізовано інші методи обмеження пускових струмів світильників із напівпровідниковими джерелами світла.

УДК 697.1

Віктор Хомишин, Катерина Козак, к.т.н, доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Проаналізовано досвід експлуатації систем теплопостачання, подано їх переваги та недоліки, запропоновано перехід до децентралізованого теплопостачання.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, децентралізоване теплопостачання, індивідуальне опалення.

Viktor Khomyshyn, Kateryna Kozak

ANALYSIS OF HEAT SUPPLY SYSTEMS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

The experience of operation of heat supply systems is analyzed, their advantages and disadvantages are presented, the transition to decentralized heat supply is proposed.

Keywords: centralized heat supply, decentralized heat supply, individual heating.

Період кінця 1980-х років до початку 2000-х характеризувався переходом на ринкові відносини. Значне зменшення фінансування зі сторони держави, низькі ціни на енергоресурси та відсутність економічних стимулів сприяли погіршенню стану галузі теплопостачання. Старі неринкові механізми виявилися недієздатними в нових умовах, криза теплоенергетичної галузі стала системною. Це почало приводити до підвищення аварійності теплових мереж та теплогенеруючого обладнання, значного зношення основних фондів, збільшення неплатежів зі сторони населення, бюджетних та промислових споживачів і як наслідок – відсутність фінансових ресурсів на модернізацію технічної бази. Роль держави була незначно. Зношення основних фондів у тепломережах до кінця 2010 р. складало близько 70 %; аварійність за період 1995 – 2010 рр. виросла більш ніж у 10 разів [1].

В умовах, що склалися, порушився баланс інтересів всіх учасників процесу теплопостачання, галузь теплопостачання перестала бути інвестиційно привабливою, централізоване теплопостачання перестало були енергоефективним, почав відбуватися поступовий перехід до децентралізованих систем теплопостачання. Починаючи із середини 2000-х років новозбудовані житлові будинки перестали підключати до централізованого теплопостачання. Для забудовників це плюс: по-перше, відпала необхідність у прокладці теплотрас; по-друге – витрати на монтаж систем теплопостачання лягають на кінцевого споживача, який, у свою чергу має можливість вибору – дахова котельня або індивідуальне поквартирне опалення (газове чи електричне).

Зважаючи на значну кількість переваг індивідуального опалення, населення поступово почало відключатися від систем централізованого теплопостачання та переходити на індивідуальне поквартирне. Коли ж цей процес набув масового поширення, з'явилися перші проблеми – газові мережі будинків виявилися непристосовані для збільшення кількості транзиту газу. Нехтування правилами встановлення та експлуатації побутових газових котлів почало призводити до трагічних наслідків – вибухів. З'явився «енергетичний паразитизм» – процес, при якому власники квартир з індивідуальним опаленням, особливо внутрішніх, регулюючи температуру у своїх помешканнях, почали зменшувати споживання газу та економити на опаленні за рахунок сусідів із центральним теплопостачанням, «крадучи» у них тепло та гроші. Переваги та недоліки різних систем теплопостачання подано у табл. 1.

Таблиця 1

Переваги та недоліки систем теплопостачання житлових будівель

Переваги	Недоліки
Централізована система теплопостачання	
1. Безпека в енергокористуванні. 2. Можливість використання різноманітного палива, у т.ч. палива низької якості. 3. Висока кваліфікація ремонтно-обслуговуючого персоналу.	1. Складність забезпечення температурного комфорту для споживачів. 2. Інерційність регулювання параметрів теплоносія. 3. Проблеми забезпечення енергоефективності, надійності та економічності при транспортуванні тепла на великі відстані. 4. Суттєві початкові капіталовкладення та тривалі строки окупності при спорудженні великих енергетичних об'єктів.
Децентралізована система теплопостачання	
1. Невеликий радіус тепломереж. 2. Висока маневренність обладнання. 3. Економічність. 4. Відносно низька вартість спорудження та малі строки окупності енергооб'єкта.	1. У випадку виходу з ладу обладнання значні капіталовкладення лягають на плечі невеликого кола локальних споживачів.
Індивідуальне опалення (газове, електричне)	
1. Можливість точного оперативного регулювання параметрів теплоносія. 2. Відносна простота в експлуатації. 3. Швидкість монтажних та пусконалагоджувальних робіт. 4. Низька вартість тепла для споживача. 5. Можливість забезпечення теплом споживачів, які не мають доступу до органічного палива (газове).	1. Додаткове навантаження та газотранс-портну (електричну) мережу будинку. 2. Низькі параметри безпеки. 3. Високі вимоги до якості води та газу. 4. Висока вартість тепла для споживача (електричне).

Аналізуючи досвід експлуатації систем індивідуального опалення за останні 15 років, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та ЖКГ України наприкінці 2018 року розробило нові державно-будівельні норми (ДБН) щодо проектування газових побутових теплогенераторів у нових багатоквартирних житлових будинках. Відтепер, у таких будинках не допускається розміщення побутових газових котлів із закритими та відкритими камерами згоряння. Лише у індивідуальних житлових будинках та багатоквартирних житлових будинках до 3 поверхів для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання допускається встановлення котлів з потужністю до 30 кВт. Нові ДБН вступають у дію в 2019 році та покладуть край проблемам індивідуального опалення, зумовлять перехід до децентралізованого теплопостачання, зокрема, до дахових котелень.

Література

1. Макаров А.А. Методы совершенствования экономического механизма управления теплоснабжением: автореф. дисс. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Александр Андреевич Макаров; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; науч. рук. Ратников Б.Е. – Екатеринбург, 2011. – 24 с.

УДК 621.372.061

Анатолій Якунін, к.т.н., доц.
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна

УЗАГАЛЬНЕНЕ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ІНВАРІАНТНЕ ПОДАННЯ ПРОЦЕСІВ У ЛІНІЯХ З МАЛИМИ ВТРАТАМИ

Розглянуто диференціальне рівняння, що описує нестаціонарний струм у довгій лінії з малими втратами. Методом багатьох масштабів синтезовано наближений загальний розв'язок у вигляді комбінації двох затухаючих хвиль.

Ключові слова: електрична лінія, нестаціонарний процес, узагальнений функціонально-інваріантний розв'язок, метод багатьох масштабів.

Anatolii Yakunin, Ph.D, docent

GENERALIZED FUNCTIONALLY-INVARIANT REPRESENTATION OF PROCESSES IN LINES WITH SMALL LOSSES

Differential equation that describes a nonstationary current in a long line with small losses is considered. Approximate general solution as a combination of two damped waves is synthesized by the method of many scales.

Keywords: electrical line, nonstationary process, generalized functionally-invariant solution, method of many scales.

Перехідні режими електричних ланцюгів спостерігаються при комутаціях, передачі неперіодичних сигналів чи дії зовнішнього електромагнітного поля й описуються широким спектром зміни значень напруги та сили струму. Базовим поданням нестаціонарних процесів у довгій однорідній лінії з розподіленими параметрами, що характеризується індуктивністю L, ємністю C та малими активним опором $R = \varepsilon R_0$ і витоком $G = \varepsilon G_0$, служить система телеграфних рівнянь [1] :

$$\frac{\partial i}{\partial x} + C\frac{\partial u}{\partial t} + \varepsilon G_0 u = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \varepsilon R_0 i + L\frac{\partial i}{\partial t} = 0, \tag{1}$$

де величини $R,\ L,\ C,\ G$ розподілені вздовж електричної лінії неперервно і рівномірно і розраховані на одиницю довжини; x – просторова координата вздовж лінії; t – час; $i = i(x,t)$ – сила струму; $u = u(x,t)$ – напруга; ε – малий параметр, $0 < \varepsilon << 1$.

У роботі [2] для дослідження довгого електричного ланцюга при малих втратах застосовується метод збурень до крайової задачі на півосі $x \in [0;+\infty)$ і знаходиться наближений аналітичний розв'язок кожного з рівнянь (1) у вигляді деформованої падаючої хвилі. При цьому нехтується нескінченно малими величинами другого та вищих порядків, не враховуються витоки та втрачається увага до відбитих хвиль.

Продиференціювавши відповідним чином співвідношення (1) і вилучивши одну з шуканих функцій $u = u(x,t)$ або $i = i(x,t)$, можна зазначену систему звести до вигляду, в якому кожне з рівнянь містить тільки одну з указаних функцій :

$$\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} - \nu^2\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} + 2\varepsilon\alpha\frac{\partial i}{\partial t} + \varepsilon^2\beta i = 0; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \nu^2\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2\varepsilon\alpha\frac{\partial u}{\partial t} + \varepsilon^2\beta u = 0, \tag{2}$$

де $\nu = \sqrt{1/(LC)}$ – швидкість поширення біжучих хвиль, $\alpha = (1/2)\left(R_0/L + G_0/C\right)$ і $\beta = \left(R_0/L\right)\left(G_0/C\right)$ – сталі коефіцієнти.

Обидва рівняння (2) мають аналогічний запис, тому можна обмежитися

розглядом тільки першого з них. Спираючись на наявність у задачі малого параметра, пропонується наближене подання загального розв'язку рівняння (2) для струму $i = i(x,t)$ як комбінації двох лінійно незалежних узагальнених функціонально-інваріантних розв'язків [3] за допомогою застосування методу багатьох масштабів [4] до незалежних змінних x і t.

Узагальнений функціонально-інваріантний розв'язок [3] характерний для рівнянь гіперболічного типу і має вигляд хвилі змінної амплітуди

$$i = A \cdot F(\tau), \tag{3}$$

де $A = A(x,t)$, $\tau = \tau(x,t)$ і $F = F(\tau)$ – відповідно амплітуда, фаза і профіль хвилі, причому залежності $A = A(x,t)$ і $\tau = \tau(x,t)$ визначаються з диференціального рівняння, а функція $F = F(\tau)$ – довільна.

Для прямої хвилі $i = A \cdot F(\tau)$ при малих втратах, з фізичних міркувань, можна знехтувати їхнім впливом на фазу та вважати $\tau = t - x/\nu$, а щоб врахувати незначні збурення амплітуди можна покласти $A = A(\eta)$, де $\eta = \varepsilon(t + \nu x)$ – повільна незалежна змінна. Тоді, переходячи в (2) до нових змінних, можна одержати

$$\varepsilon^2 \frac{d^2 A}{d\eta^2} F + 2\varepsilon \frac{dA}{d\eta} \cdot \frac{dF}{d\tau} + A \frac{d^2 F}{d\tau^2} - \varepsilon^2 \nu^4 \frac{\partial^2 A}{\partial \eta^2} F + 2\varepsilon \nu^2 \frac{dA}{d\eta} \cdot \frac{dF}{d\tau} - A \frac{d^2 F}{d\tau^2} +$$
$$+ 2\varepsilon^2 \alpha \frac{dA}{d\eta} F + 2\varepsilon\alpha A \frac{dF}{d\tau} + \varepsilon^2 \beta A F = 0. \tag{4}$$

Якщо привести подібні, потім поділити обидві частини на ε і згрупувати окремо члени з множниками $dF/d\tau$ і F, то співвідношення (4) набуває вигляду

$$2\left[(1+\nu^2)\frac{dA}{d\eta} + \alpha A\right] \cdot \frac{dF}{d\tau} + \varepsilon\left[(1-\nu^4)\frac{\partial^2 A}{\partial \eta^2} + 2\alpha \frac{dA}{d\eta} + \beta A\right] \cdot F = 0. \tag{5}$$

Обмежуючись пошуком розв'язку з точністю до членів першого порядку мализни відносно ε, можна у рівнянні (5) знехтувати другим доданком з множником F і отримати

$$\left[(1+\nu^2)\frac{dA}{d\eta} + \alpha A\right] \cdot \frac{dF}{d\tau} = 0.$$

Оскільки функція $F = F(\tau)$ – довільна, то вираз у дужках при множнику $dF/d\tau$ повинен дорівнювати нулю. Це приводить до диференціального рівняння

$$(1+\nu^2)\frac{dA}{d\eta} + \alpha A = 0,$$

розв'язком якого служить функція

$$A = B \exp\left(-\frac{\alpha\eta}{1+\nu^2}\right), \tag{6}$$

де B – довільна стала.

Підставляючи (6) у формулу (3), враховуючи довільність функції F та повертаючись до початкових аргументів x і t, можна отримати остаточний вираз для узагальненого функціонально-інваріантного розв'язку

$$i = \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t+\nu x)}{1+\nu^2}\right) \cdot F_1(t - x/\nu), \tag{7}$$

що відповідає падаючій хвилі, де F_1 – довільна функція.

Застосовуючи аналогічний підхід до розгляду відбитої хвилі $i = A \cdot F(\tau)$ при малих втратах, можна покласти $\tau = t + x/\nu$, $\eta = \varepsilon(t - \nu x)$ і одержати узагальнений

функціонально-інваріантний розв'язок

$$i = \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t-\nu x)}{1+\nu^2}\right)\cdot F_2(t+x/\nu), \tag{8}$$

що відповідає відбитій хвилі, де F_2 – довільна функція.

Легко переконатися, що розв'язки (7) і (8) – лінійно незалежні. Тоді загальний розв'язок рівняння (2) для струму можна наближено подати як їхню суму

$$i = \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t+\nu x)}{1+\nu^2}\right)\cdot F_1(t-x/\nu) + \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t-\nu x)}{1+\nu^2}\right)\cdot F_2(t+x/\nu). \tag{9}$$

Підставляючи (9) у співвідношення (2) для струму, можна дістати вираз для нев'язки диференціального рівняння:

$$\Delta = \varepsilon^2(\beta-\alpha^2)\exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t+\nu x)}{1+\nu^2}\right)\cdot F_1(t-x/\nu) + \varepsilon^2(\beta-\alpha^2)\exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t-\nu x)}{1+\nu^2}\right)\cdot F_2(t+x/\nu).$$

Для знаходження конкретних функцій F_1 і F_2 використовуються початкові та крайові умови. Зокрема дослідження довгого електричного ланцюга при малих втратах приводить до крайової задачі на півосі $x \in [0;+\infty)$ з межовими умовами

$$i(0,t) = \Phi(t), \quad t > 0; \qquad \lim_{x\to+\infty} i(x,t) = 0, \ \ t > 0, \tag{10}$$

де $\Phi(t)$ – задана функція.

Оскільки з другої умови (10) випливає, що у виразі (9) F_2=0, то перша умова (10) приводить до співвідношення

$$\exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha t}{1+\nu^2}\right)\cdot F_1(t) = \Phi(t).$$

Звідси

$$F_1(t) = \Phi(t)\exp\left(\frac{\varepsilon\alpha t}{1+\nu^2}\right).$$

Тоді

$$i = \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t+\nu x)}{1+\nu^2}\right)\cdot F_1(t-x/\nu) = \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(t+\nu x)}{1+\nu^2}\right)\cdot \Phi(t-x/\nu)\exp\left(\frac{\varepsilon\alpha(t-x/\nu)}{1+\nu^2}\right) =$$

$$= \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha(\nu+1/\nu)x}{1+\nu^2}\right)\cdot \Phi(t-x/\nu) = \exp\left(-\frac{\varepsilon\alpha x}{\nu}\right)\cdot \Phi(t-x/\nu) \tag{11}$$

– закон зміни сили струму.

Співвідношення (11) показує, що в реальній лінії навіть при малих втратах хвилі струму затухають і тим інтенсивніше, чим менша швидкість їхнього поширення.

Література

1. Попов В. П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В. П. Попов. 6-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2007. – 575 с.

2. Мартыненко М. А. Влияние малых сопротивлений на процессы в цепях с распределенными параметрами / М. А. Мартыненко, О. И. Новикова // Преобразование и стабилизация параметров электромагнитной энергии. – Киев : Ин-т электродинамики НАН Украины, 1996. – С. 119–123.

3. Никольский Э. В. Обобщенные функционально-инвариантные решения и эквивалентные системы уравнений математической физики : Аналитические и численные решения любых уравнений и систем 2-го порядка в частных производных / Э. В. Никольский. – Новосибирск : Наука, 1997. – 156 с.

4. Verhulst F. Methods and Applications of Singular Perturbations. Boundary Layers and Multiple Timescale Dynamics / F. Verhulst. – Berlin : Springer – Verlag, 2005. – 328 p.

УДК 504.05

Л.Я. Побережна, к.т.н., Л.Я. Побережний, д.т.н.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗАСОЛЕННЯ ҐРУНТІВ НА ЇХ ОПІР ТРИВАЛОМУ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Закономірності зміни властивостей засолених ґрунтів підтопленні територій дуже важливі для проектування основ і фундаментів промислових і цивільних споруд. Проведено математичне моделювання зміни несучої здатності засолених грунтів.

Ключові слова: засолені грунти, вилуговування солей, суфозія, просідання обводнених грунтів.

Poberezhna L.Ya., Poberezhny L.Ya.

MODELING THE INFLUENCE OF SOIL SURFACES ON THEIR DURING THE CONTINIOUS STATIC LOADING

Patterns of change in the properties of soil salinity flooding areas are very important for designing bases and foundations of industrial and civil buildings. The mathematical modeling of the change in bearing capacity of saline soils was carried out.

Keywords: saline soils, leaching of salts, suffusion, subsidence watered soil.

Екологічна безпека регіонів є однією з найважливіших проблем на сучасному етапі розвитку суспільства. Погіршення екологічного стану оточуючого середовища та погіршення здоров'я населення, що проживає на даних територіях визначає необхідність вивчення екологічних небезпек та ризиків. В умовах сучасного розвитку суспільства значне місце займає проблема освоєння та забудови значних земельних територій.

Велика конкуренція, висока щільність забудови та недостатній обсяг земельного фонду призвели до залучення під будівництво структурно-нестійких ґрунтів.

У Калуському промисловому районі Івано-Франківської області великі площі займають засолені ґрунти, які належать до району ліквідованих гірничо-хімічних підприємств Прикарпаття.

Проблема убезпечення від руйнування споруд цивільного та промислового будівництва є однією з найважливіших на даний час. При проектуванні споруд, які знаходяться у зоні шкідливого впливу гірських виробок необхідно враховувати діючі Державні будівельні норми України та міжнародні стандарти, котрі застосовуються при будівництві споруд [1].

Вивчення закордонного досвіду дозволяє здійснювати прогноз стійкості фундаментів будівель, споруджених на засолених територіях.

Просідання глинистих ґрунтів характеризується рядом показників: межа просідання, щільність скелету ґрунту на межі просідання, величина відносного лінійного та об'ємного просідання.

На даний час при вивченні механіки ґрунтів відсутня строга математична постановка задачі про напружено-деформований стан масиву водонасиченого засоленого ґрунту та зміни цього стану з урахуванням процесів масообміну та масопереносу між компонентами ґрунту. Це значно сповільнює подальший розвиток методів розрахунку основ, котрі складаються з засолених ґрунтів.

Наявність в ґрунтах різних за кількісним складом солей впливає на деформаційні показники ґрунтів. При зволоженні засолених ґрунтів відбувається розчинення і винос солей, які в них містяться і згідно з цим збільшується пористість ґрунту. Збільшення ж

пористості засолених ґрунтів при зволоженні в свою чергу призводить до суфозійного просідання [1-2].

Для просідання однорідного шару ґрунту у напрямку осі *X* маємо формулу (1):

$$S(t)=\int_{h_1}^{h_2}\alpha_0(\sigma-\overline{\sigma_0})^{\nu_0}\frac{\xi_0-\xi(t)}{\xi_0}dx \qquad (1)$$

де: h_1, h_2 - відповідно верхня і нижня межі області суфозійної осадки; $\sigma=\gamma_0 x$ - зміна ущільнюючого навантаження по глибині в умовах природного напруженого стану, МПа; γ_0 - питома вага ґрунту в водонасиченому стані, Н/см^3; α_0, ν_0 - параметри нелінійної деформації, які є сталими для однорідної товщі ґрунту; $\xi(t)$ - функція розподілу питомого обсягу солей, в частках одиниць; $\overline{\sigma_0}$ - мінімальний тиск, при якому виникає суфозійне осідання ґрунту, МПа [2].

У загальному випадку закон зміни питомого обсягу розчинних солей в ґрунті з глибиною і з часом описується системою рівнянь (2):

$$\begin{cases} Dm_0\dfrac{\partial^2 C}{\partial x^2}-\nu\dfrac{\partial C}{\partial x}-\delta\dfrac{\partial \xi}{\partial t}=m_0\dfrac{\partial C}{\partial t}; \\ \dfrac{\partial \xi}{\partial t}=-\dfrac{\gamma}{\delta}(C_m-C)\xi^k \end{cases} \qquad (2)$$

де: *D*- коефіцієнт конвективної дифузії, см^2/с; *C*- концентрація солей у рідині, г/см^3; ξ - питомий об'єм солей в ґрунті, в частках одиниць. C_M- концентрація насичення води солями даного складу, г/см^3; γ - узагальнений коефіцієнт солевіддачі, с$^{-1}$; m_0- пористість ґрунту; ν швидкість фільтрації ґрунтової води, см/с; δ - щільність солей, г/см^3; k - коефіцієнт засолення.

У системі (2) *k* приймає значення 0;0,5;1. При *k* = 0 отримуємо випадок плівкового засолення ґрунту; при або *k* = 1 - випадок об'ємного (дисперсного) засолення ґрунту [3]. Розглянемо математичну модель задачі з розрахунку концентрації солей в рідині, яка фільтрується та розрахунку зміни питомого обсягу солей, що містяться в засоленому ґрунті і суфозійне просідання, яка при цьому виникає. Для розв'язання цієї задачі використовується система (2) з наступними початковими та граничними умовами (3):

$$\begin{cases} C(x,0)=C_H \\ \xi(x,0)=\xi_0 \end{cases},$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial C(0,t)}{\partial x}=\dfrac{\nu}{m_0 D}(C(0,t)-C_0) \\ \dfrac{\partial C(l,t)}{\partial x}=0 \end{cases} \qquad (3)$$

де: C_H - рівномірний розподіл концентрації солей у рідині в початковий момент часу по товщі ґрунту, г/см^3; C_0- концентрація солей у вхідному перерізі ґрунту, г/см^3; ξ_0 -

рівномірний розподіл питомого об'єму солей в ґрунті в початковий момент часу, в частках одиниць; l - товщина ґрунту, см [2].

Розв'яжемо систему (2) з початковими та граничними умовами (3) кінцево-різницевим методом. Розглянемо систему (2) при $k = 0$ і $\nu = const$. Це випадок плівкового засолення ґрунту. Дане завдання зводиться до розв'язання системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial C}{\partial \bar{t}} = \dfrac{1}{Pe}\dfrac{\partial^2 C}{\partial \bar{x}} - \dfrac{\partial C}{\partial \bar{x}} + N\left(C_m - C\right) \\ \dfrac{\partial \xi}{\partial \bar{t}} = -\dfrac{1}{\delta} N(C_m - C) \end{cases} \tag{4}$$

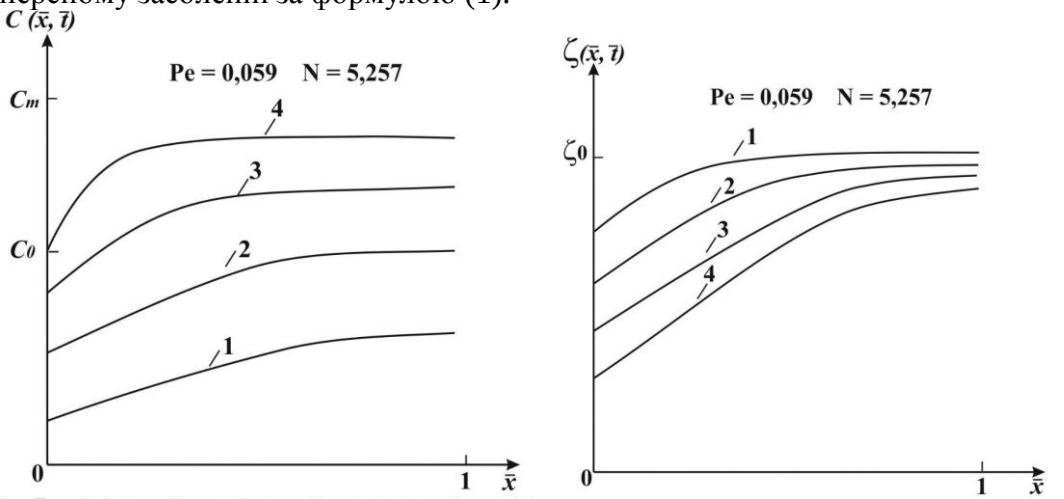
з початковими і граничними умовами (5),

$$\begin{cases} C\left(\bar{x},0\right) = C_H \\ \xi\left(\bar{x},0\right) = \xi_0 \end{cases},$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial C(0,\bar{t})}{\partial \bar{x}} = Pe(C(0,\bar{t}) - C_0) \\ \dfrac{\partial C(l,\bar{t})}{\partial \bar{x}} = 0 \end{cases} \tag{5}$$

де: $\bar{x} = \dfrac{x}{l}$ - безрозмірна координата; $\bar{t} = \dfrac{\nu \cdot t}{m_0 l}$ - безрозмірний час; $Pe = \dfrac{\nu \cdot l}{m_0 D}$ - критерій Пекле; $N = \dfrac{m_0 \gamma \cdot l}{\nu}$ - критерій розчинення.

Використовуючи отримані розподіли функції $\xi(x,t)$, можна визначити суфозійне просідання ґрунту в часі для природного напруженого стану при плівковому і дисперсному засоленні за формулою (1).



1 - $\bar{t}$ = 0,09;2 - $\bar{t}$ = 0,27;3 - $\bar{t}$ = 0,45;4 - $\bar{t}$ = 0,63 1 - $\bar{t}$ = 0,09;2 - $\bar{t}$ = 0,27;3 - $\bar{t}$ = 0,45;4 - $\bar{t}$ = 0,63

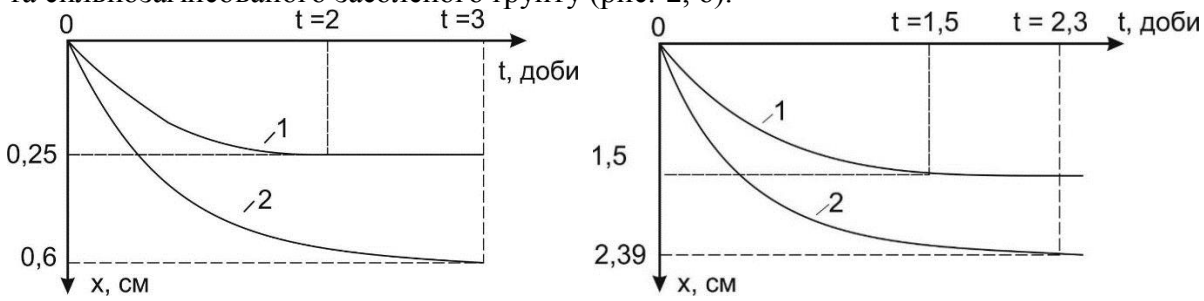
а) б)

Рис. 1. Залежність концентрації солей в рідині а), та їх питомого об'єму у ґрунті б)

Таким чином, задача (4)-(5) буде залежати тільки від двох безрозмірних критеріїв Pe і N. При розрахунках були використані наступні дані: $C_m = 0{,}026 г/см^3$, $C_0 = 0{,}026 г/см^3$, $C_н = 0{,}08 г/см^3$. За результатами розрахунків отримані залежності концентрації солей в рідині (рис. 1, а) і питомого вмісту солей по товщині ґрунту з

плином часу (рис. 1, б). Розрахунки проводилися для двох характерних випадків загіпсованого засоленого ґрунту А=10% (слабозагіпсованого засоленого) і А=40% (сильнозагіпсованного засоленого). Для А=10% маємо такі дані: $\overline{\sigma_0} = 0,038 МПа$, $C_m = 0,026 г/см^3$, $\gamma_0 = 0,015 Н/см^3$, $C_0 = 0 г/см^3$, $\gamma = 0,001 c^{-1}$, $m_0 = 0,6$, $v = 55 см/добу$, $\xi_0 = 0,6$, $D = 0,21 см^2/с$, $h = 10 см$, $\delta = 2,65 г/см^3$, $v_0 = 1$, $\alpha_0 = 0,075 МПа^{-1}$.

Для сильнозагіпсованного засоленого ґрунту нелінійний коефіцієнт стисливості $\alpha_0 = 0,38 МПа^{-1}$. За результатами розрахунків були побудовані графіки кінетики суфозійного просідання для плівкового та дисперсного засолення для слабо- (рис. 2, а) та сильнозагіпсованого засоленого ґрунту (рис. 2, б).



а) б)

Рис. 2. Криві суфозійного просідання: а) – для слабозагіпсованого засоленого ґрунту; б) - для сильнозагіпсованого засоленого ґрунту; 1 - плівкове засолення; 2 - дисперсне засолення.

Висновки. Як видно з наведених залежностей, слабозагіпсовані ґрунти дають менші деформації в порівнянні з сильнозагіпсованними. Так само для сильнозагіпсованних ґрунтів характерною є порівняно швидка стабілізація деформації, за якої процес суфозійного просідання припиняється. Дані дослідження проводилися для засолених загіпсованих ґрунтів гіпсово-глинистої шапки Стебницького родовища, яка є своєрідним протектором глинистих засолених порід від проникнення прісних вод [4]. Однак, в загальному, отримані залежності можуть бути використані і для ґрунтів Калуського промислового району після незначної адаптації та експериментальної перевірки в польових умовах, оскільки породи, які залягають на даних родовищах схожі за своєю структурою.

Література

1. Мустафаєв А.А. Деформации засоленых грунтов в основаних сооружений/ А.А. Мустафаев. - М.:Стройиздат, 1985. - 280 с.
2. Садовенко И. А. Экспериментальные исследования суффозионных и эрозионных деформаций лессовых грунтов/ Садовенко И. А., Деревягина Н. И.// Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. –2013. – Випуск 4 (81).- с. 129-134.
3. Побережна Л.Я. Моделювання просідання засолених ґрунтів у Калуському промисловому районі/ Л.Я. Побережна // Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.9.; с. 158-161.
4. Семчук Я. М. Підвищення рівня екологічної безпеки територій на основі геоекологічного районування / Я. М. Семчук // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. - 2014. - № 2. - С. 164-165.

УДК 504.06+004.032.26

М.А. Шуфнарович, к. т. н.
Івано-Франківський національний медичний університет, Україна

КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ГРУНТАХ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖ

Розроблено метод математичного моделювання забруднення ґрунтів важкими металами на основі теорії нейромереж, що автоматизує процес картографічного моделювання шляхом побудови дійсних значень ізоліній концентрацій металів, що містяться в ґрунтах досліджуваної території.

Ключові слова: математичне моделювання, нейромережі, карторгафічне моделювання, важкі метали, грунти

M.A. Shufnarovych

CARTOGRAPHIC MODELING OF DISTRIBUTION OF HARD METALS IN SOIL BASED ON NEURAL NETWORKS

Method of mathematical modeling of soil contamination on the basis of the theory of neural networks. This method makes it possible to automate the process of cartographic modeling by constructing the actual values of isolines of concentrations of metals in the soils of the study area.

Key words: mathematical modeling, neural networks, cartographic modeling, hard metals, soils

Для оцінки придатності ґрунтів до вирощувати на них екологічно-чистих продуктів харчування використовують еколого-техногеохімічні карти розповсюдження того чи іншого важкого металу. Вони будуються шляхом нанесення на карту досліджуваної місцевості ліній ізоконцентрацій важких металів, що забруднюють грунти. Недоліком такого методу є те, що він дає уявлення лише про середні значення концентрацій, отриманих з певним кроком. Чим детальніша така карта, тим менший крок ізоконцентрацій і тим більший обсяг фактичного матеріалу необхідний для її побудови. Окрім того, є небезпека пропустити альтитуди концентрацій, що може привести до спотворення еколого-техногеохімічної карти.

Метою математичного моделювання є знаходження залежності між концентрацією важкого металу і координатами відбору відповідних проб

$$C_i = f\left(X,Y\right), \tag{1}$$

де C_i – концентрація важкого металу в грунті, мг/кг;

X і Y - координати точок відбору проб.

Аналіз існуючих способів апроксимації (метод найменших квадратів, метод групового урахування аргументів, нейронні мережі) показав, що найбільшої уваги функціонального наближення до (1) заслуговує теорія нейромереж [1].

В результаті відображення $C_i = f\left(X,Y\right)$ необхідно забезпечити формування адекватних вихідних сигналів у відповідності із всіма прикладами навчальної вибірки і зі всіма можливими вхідними сигналами, які не ввійшли до навчальної вибірки. Друга умова значно ускладнює формування навчальної вибірки. В загальному випадку ця задача не розв'язана, але в кожному конкретному випадку можна знайти її часткове вирішення.

В основі розв'язку задачі функціонального наближення (1) лежить теорема Хехт-Нільсена, яка доказує можливість апроксимації експериментальних даних функцією багатьох змінних, достатньо загального вигляду за допомогою двошарової нейромережі з прямими повними зв'язками. Така мережа має n нейронів у вхідному шарі, 2n+1 нейрон в прихованому шарі з наперед відомими функціями активації (наприклад, сигмоідальними) і m нейронів у вихідному шарі з невідомими функціями активації.

Ця теорема є неконструктивною, оскільки вона визначає тільки представлення будь-якої багатовимірної функції кількох змінних за допомогою нейромережі фіксованого розміру. Невідомими залишаються характеристики функції активації прихованого шару та вид функції активації нейронів вихідного шару.

На практиці вимоги теореми Хехт-Нільсена до функцій активації задовольняють наступним чином. В нейронах прихованого шару використовують сигмоідальні функції, а для нейронів вихідного шару вибирають лінійні функції активації. В процесі навчання індивідуально для кожного нейрона визначають його параметри.

Одна із проблем, що може виникнути під час навчання нейромережі – це неприйняття. Суть цієї проблеми в тому, що мережа може бути досить добре навчена на навчальній послідовності, тобто середньоквадратичне відхилення між виходом мережі і експериментальними даними має дуже мале значення, але, коли нові дані представлені, що не входять до навчальної послідовності, похибка стає великою. Один із способів усунення неприйняття – це збільшення розмірності нейромережі. Інший спосіб – це регуляризація мережі [1]. Дослідження показали, що регуляризація значно зменшує несприйнятливість мережі, але при цьому зростають затрати часу на її навчання.

З точки зору усунення несприйнятливості більш ефективними є радіальні мережі [2], які, на відміну від мереж зі зворотним поширенням, вимагають більшої кількості нейронів.

В роботі [3] проаналізовані можливості різних нейромереж як апроксиматорів залежностей типу (1). За основу такого аналізу було взято точність відтворення нейромережею функціональних залежностей $f(x)$. Проведений аналіз нейромереж з врахуванням неприйняття нейромережі, тобто мережа навчалась на заданих вузлах апроксимації; потім обчислювались значення функції $f(x)$ у вузлах, які не співпадають з навчальними вузлами. У результаті такого аналізу виявлено, що найкращою є узагальнена регресійна нейромережа, яка належить до класу радіальних нейромереж.

Отже, на вхід нейромережі подавались координати точок відбору проб, які були приведені до безрозмірних величин, за такими формулами

$$x_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}, \tag{2}$$

$$y_i = \frac{Y_i - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}}, \tag{3}$$

де X_i, Y_i - координати i - тої проби, $i = \overline{1,N}$;

X_{min}, Y_{min} - мінімальні значення координат X_i та Y_i;

X_{max}, Y_{max} - максимальні значення координат X_i та Y_i;

N - кількість проб відбору.

Як навчальна послідовність, використовувались значення концентрацій ртуті у ґрунті $C_{Hg}^{(i)}$, які визначались за результатами аналізу проб з координатами X_i, Y_i. Величини $C_{Hg}^{(i)}$, також були приведені до безрозмірного вигляду

$$z_i = \frac{C_{Hg}^{(i)} - C_{Hg}^{(min)}}{C_{Hg}^{(max)} - C_{Hg}^{(min)}}. \quad (4)$$

Отже, навчена узагальнена радіальна нейромережа дає можливість визначити концентрацію важкого металу у ґрунті для будь-якої точки досліджуваної території. Для цього необхідно за картою місцевості визначити її координати і за формулами (2) і (3) обчислити безрозмірні значення координат x_i і y_i, які є входом нейромережі. На її виході отримаємо концентрації важкого металу z_i^* у безрозмірних одиницях. Визначаємо вміст важкого металу у ґрунті у розмірних одиницях (мг/кг) за формулою:

$$C_{Hg}^{(i)} = C_{Hg}^{(min)} + z_i^* \left(C_{Hg}^{(max)} - C_{Hg}^{(min)} \right).$$

Отримане значення $C_{Hg}^{(i)}$ дає можливість визначити аномальний вміст важкого металу у вибраній місцевості.

Розроблену методику можна використати для визначення аномального вмісту у ґрунтах важких металів таких як Pb, As, Cu, F, Mn та інших.

Метод картографічного моделювання розглянутий на прикладі забруднення ґрунтів ртуттю на території Галицького району Івано-Франківської області рис. 1 [4].

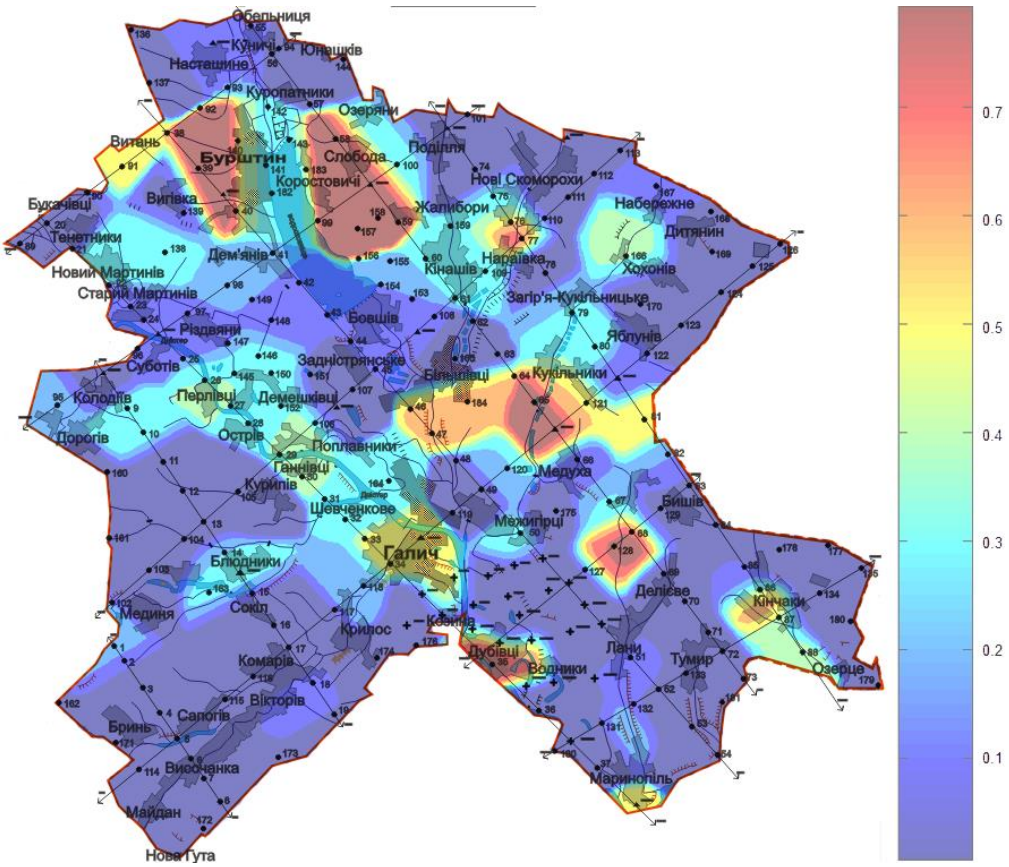


Рис. 1. Лінії ізоконцентрацій ртуті у ґрунтах Галицького району

Останнім етапом побудови моделі є перевірка її на адекватність, суть якої є перевірка отриманої моделі на придатність для розв'язку задачі за кінцевим результатом. Як критерій адекватності використано коефіцієнт кореляції. Для випадку, що розглядається $K_{zz} = 0{,}918$, що свідчить про високу степінь збіжності експериментальних значень z_i до значень z_i^*, які отримані у відповідності з моделлю.

Розроблений метод оцінки вмісту важких металів у ґрунтах дає можливість автоматизувати процес математичного моделювання шляхом побудови дійсних значень ізоліній концентрацій, а не їх середніх значень. При цьому кількість таких ліній необмежена. Це дає можливість отримати точніші, а значить і об'єктивніші еколого-техногеохімічні карти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 382 с.

2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. / Пер. с польского. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.

3. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Ковалів Є. О. Ідентифікація статичних характеристик технологічних об'єктів на базі нейромереж. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. - № 9 (том 2) . – С. 139 – 145.

4. Горбийчук М. И. Метод картографического моделирования загрязнения почв на основе теории нейросетей / М. И. Горбийчук, М. А. Шуфнарович / The thrird Planet from Sun: Modern Theories and Research Practice in the Field of Earth and Space sciences: Materials digest of the L International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in Earth and Space sciences, London, May 21 – 26, 2013. London, 2013 – С. 131 – 135.

УДК 621.326

П.П. Гаврилюк
Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Україна

ОРГАНІЧНИЙ СВІТЛОДІОД

Науковий керівник: викладач Недошитко Л.М.

Havryliuk P.P.

ORGANICLIGHT-EMITTINGDIODE

Supervisor: Nedoshytko L.M.

Органічний світлодіод (OLED) - світлодіод, у якому електролюмінесценція відбувається в тонкому пласті органічного напівпровідника, розташованому між двома електродами. У дисплеях на органічних світлодіодах створюється матриця пікселів, які можуть світитися різними кольорами. Такі системи можуть використовуватись в багатьох різновидах екранів, також можна використовувати в джерелах світла.

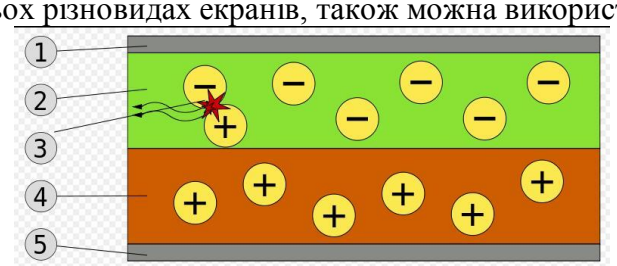


Схема двошарового OLED: 1. Катод. 2. Емісійний шар. 3. Випромінювання випромінювання. 4. Провідний шар. 5. Анод

Випромінювання світла в органічному світлодіоді відбувається в тонкому люмінесцентному шарі органічного напівпровідника, в який із двох електродів інжектуються електрони і дірки. В межах люмінесцентного шару електрони й дірки рекомбінують, випромінюючи фотони. Для інжекції електронів використовуються метали з малою роботою виходу, для інжекції дірок — напівпрозорий електрод. Люмінесцентний шар може складатися або з малих органічних молекул, або зі спряжених полімерів. Для покращення характеристик діоду, використовують також додаткові провідні шари, для електронів і дірок.

Органічні світло діоди забезпечують високу яскравість, покривають увесь видимий спектр і є дуже дешевими у виробництві. Вони відкривають перспективу створення телевізорів і моніторів товщиною у декілька міліметрів. Яскравість органічних світло діодів уже перевищила яскравість ламп розжарювання, що робить їх перспективними для використання як освітлювальних приладів.

Порівняно з рідкокристалічними дисплеями,OLED-дисплеї не потребують підсвічування(тому можуть відображати глибокі чорні кольори), мають менші габарити і вагу, великі кути огляду, високу контрастність, великий діапазон робочих температур, є можливість створення гнучких екранів.А у порівнянні з плазмовими дисплеями, ще більш низьке енергоспоживання при тій же яскравості.

До недоліків можна віднести дорожнечу технологій при створенні великих матриць, малий термін служби люмінофорів деяких кольорів (близько 2-3 років),як наслідок, неможливість створення довговічних повноцінних Truecolor дисплеїв .

Тому головна проблема OLED — час безперервної роботи має бути не менше 15 тис. годин. Одна проблема, яка останнім часом перешкоджає широкому поширенню цієї технології в моніторах та телевізорах, полягає в тому, що «червоний» OLED і

«зелений» OLED можуть безперервно працювати на десятки тисяч годин довше, ніж «синій» OLED. Це візуально спотворює зображення, причому час якісного показу неприйнятно для комерційно життєздатного пристрою. Хоча сьогодні «синій» OLED таки дістався позначки в 17,5 тис. годин (приблизно 2 роки) безперервної роботи.

Однак одне з рішень цієї проблеми — дуже просте. Достатньо застосовувати OLED білого кольору та ставити на них відповідні фільтри. Це застосувала компанія LG у своїх моделях OLED телевізорів з додаванням також четвертого пікселя чисто білого кольору для більшої яскравості зображення та більш реалістичного білого кольору.

Дисплеям телефонів, фотокамер, планшетів та інших малих пристроїв цих показників цілком достатньо у зв'язку з швидкими темпами морального старіння апаратури. Середня тривалість безперервної роботи цих пристроїв становить близько 5 тисяч годин, тому OLED в них успішно застосовується вже сьогодні.

Можна вважати це тимчасовими труднощами становлення нової технології, оскільки розробляються нові довговічні люмінофори. Також зростають потужності з виробництва матриць.

Потреба у перевагах, демонстрованих органічними дисплеями з кожним роком зростає. Цей факт дозволяє припустити, що незабаром дисплеї вироблені з використанням OLED технології, з високою ймовірністю, стануть домінантними на ринку електроніки народного споживання.

Також очікується, що на зміну OLED—дисплеям можуть прийти більш ефективні іта економічні дисплеї TMOS (Time-Multiplexed OpticalShutter, «оптичний затвор з тимчасовим мультиплексуванням»)—технологія, що використовує інертність сітчатки людського ока.

Основні напрямки досліджень:

1. TOLED— технологія, яка дозволяє створювати прозорі дисплеї, а також досягнути більш високого рівня яскравості.
2. SOLED— технологія екрану від UDC (складені OLED). Зображення підпік селів складається вертикально як в РК-дисплеї.Кожним елементом підпікселя можна керувати незалежно.
3. FOLED— (FlexibleOLED), особливістю є те, що дисплей є гнучким.Використовується пластик або гнучка металева пластина в якості підкладки з одного боку, і OLED-комірка в герметичній тонкій захисній плівці з іншого. Переваги FOLED: мала товщина дисплея, наднизька вага, міцність, довговічність і гнучкість, яка дозволяє застосовувати OLED-панелі в несподіваних місцях.
4. AMOLED—кожен піксельOLED-дисплея формується з трьох складових – органічних комірок, що відповідають за синій, зелений і червоний кольори.В основі OLED—активні і пасивні матриці керування комірками.

УДК 621.326

Д. Кривко
Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Україна

ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Науковий керівник: викладач Недошитко Л.М.

D. Kryvko

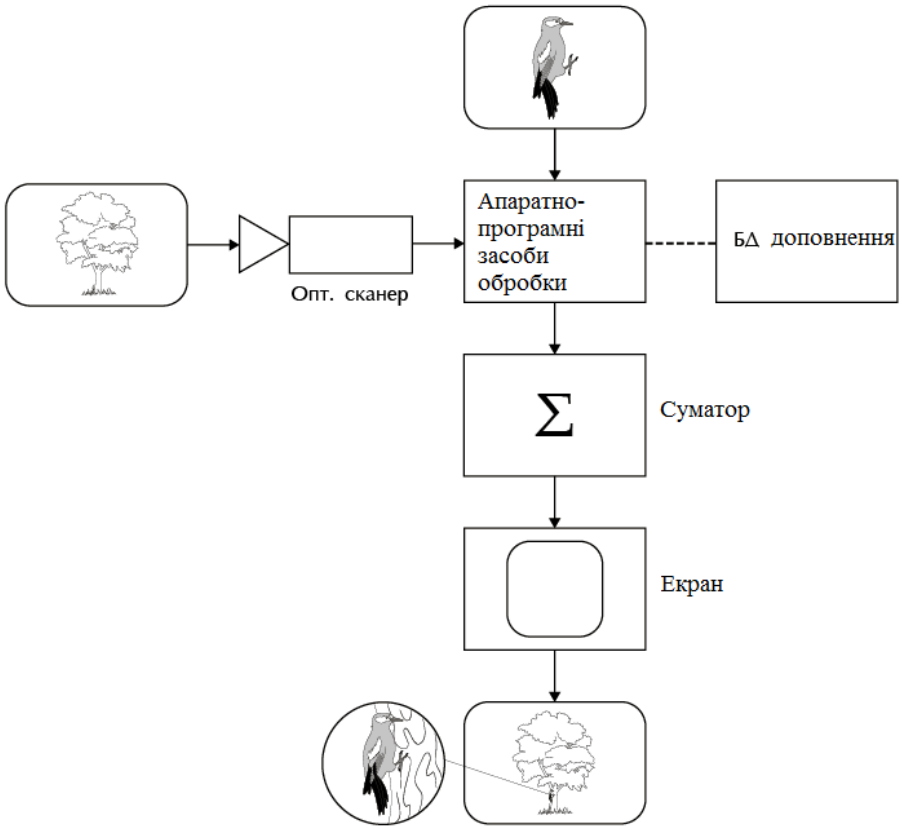
PRINCIPLES OF OPERATION AND PROSPECTS OF USING THE AUGMENTED REALITY TECNOLOGY

Supervisor: Nedoshytko L.M.

Одним з перспективних напрямків IT-розробок є доповнена реальність. Дана технологія - новий спосіб отримання доступу до даних, однак вплив цієї технології на суспільство може виявитися порівнянним з ефектом від появи Інтернету. Глобальна мережа зробила інформацію з обмеженим доступом контекстно-залежною, тобто тією яка визначається навколишніми умовами. Коли величезний масив інформації знаходиться у відкритому доступі, то стає важливим не її наявність як така, аотримання необхідних даних, пов'язаних з об'єктом, в певниймомент часу.

Доповнена реальність (в перекладі з англійської augmentedreality або AR) – це доповнення фізичного світу за допомогою цифрових даних, яке забезпечується комп'ютерними пристроями (смартфонами, планшетами та окулярами AR) в режимі реального часу.

Загальна схема створення доповненої реальності у всіх випадках така: оптичний сканер (камера) пристрою зчитує (знімає) зображення реального об'єкта; програмне забезпечення пристрою проводить ідентифікацію та аналіз отриманого зображення, вибирає або обчислює відповідне зображенню видиме доповнення, об'єднує реальне зображення з його доповненням і виводить підсумкове зображення на пристрій візуалізації. Так виходить доповнена реальність.



Можливості використання AR технологій практично безмежні та можуть бути застосовані майже в усіх аспектах нашого життя. Вони якісно змінять способи нашого спілкування, споживання інформації та ведення бізнесу. Ось декілька прикладів їх використання в реальному житті.

Обслуговування та навчання. Данатехнологія може стати хорошим інструментом для після продажного обслуговування або навчання споживача користуванню придбаним товаром. Додаткидоповненої реальності, які легко завантажуються можуть стати інструкцією по складанню, користуванню або ремонту пристрою.

Освіта. Додаток GoogleExpeditions може зробити навчання більш інтерактивним за допомогою спеціальних турів, в яких юні дослідники можуть розглядати різноманітні об'єкти, поки викладач про них розповідає.

Маркетинг. За допомогою AR технологій бренди можуть проводити більш креативні інтерактивні рекламні компанії, тим самим привертаючи додаткову увагу до своїх продуктів. Наприклад, для реклами п'ятого сезону серіалу "Ходячі Мерці", на автобусній зупинці встановили AR систему, яка "приводила" зомбі в реальний світ.

Туризм. Для нових поколінь притаманно пізнавати світ за допомогою прямої взаємодії. Наприклад, Каталонський національний музей мистецтва почав активно застосовувати AR для кращої навігації заплутаними коридорами та інтерактивного ознайомлення з експонатами.

Медицина. Компанія Vipaar запропонувала рішення яке поєднує телемедицину та AR. За допомогою окулярів GoogleGlass та додатку Vipaar, хірурги на відстані можуть асистувати своїм колегам, проектуючи свої руки на окуляри хірурга, який проводить операцію.

Дизайн. Облаштувати квартиру стало набагато простіше, оскільки замість того щоб уявляти, чи підійде вам певний елемент, меблі можна просто підставити у свій інтер'єр віртуально - за допомогою AR додатку FurnitureDropping.

Шопінг. Під час того, як ви будете в супермаркеті, додатки на основі AR допомагатимуть орієнтуватися з поміж великої кількості рядів та знаходити оптимальний шлях до потрібного товару. Крім того буде можливість отримати додаткову інформацію стосовно знижок та вигідних пропозицій.

Авіація. AR досить давно використовується військовими пілотами. Спеціальні дисплеї та шоломи виводять інформацію про системи винищувача та допомагають наведенню на ціль. AR починає проникати також в цивільну авіацію. Наприклад компанія AeroGlass розробила спеціальні окуляри доповненої реальності, які допомагають пілоту орієнтуватися в просторі, дотримуватися маршруту та отримувати додаткову інформацію під час польоту.

Ігри. Напевне немає людини, яка б не стикнулася з божевіллям PokemonGo тим чи іншим способом. Дехто сам бігав містом вишукуючи покемонів, а дехто дратувався оминаючи людей, які втупившись в смартфон плуталися під ногами. Проте це був лише початок, найцікавіші реалізації ігор відбудуться після офіційного релізу iOS 11, в якій працюватиме ARKit.

Список використаних джерел

1.Яковлев Б.С. Классификация и перспективные направления использования технологии дополненой реальности [Текст] / Б.С. Яковлев, С.И. Пустов // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. - №3. – С. 484-492.

2. Как работает AR?[Електронний ресурс] // URL: http://tofar.ru/kak-rabotaet-ar.php

3. Кравчук С.Доповненареальність, абоAR-технології. Як цепрацює? [Електронний ресурс] // THE FUTURE: шкільні уроки проновітехнології.URL: http://thefuture.news/page1837780.html

УДК 621.311

П.М. Микулик
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОПРИЙНЯТИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ВІДХИЛЕННЯ ТА КОЛИВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Проаналізовано алгоритми контролю відхилення та коливання напруги від номінального значення, обумовлених різкозмінними навантаженнями
Ключові слова: відхилення і коливання напруги, параметри якості електроенергії, реактивна потужність, втрати напруги

P. M. Mykulyk

ANALYSIS OF GENERAL METHODS OF DEVIATIONS AND FLUCTUATIONS CONTROL IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM

The algorithms of control of deviation and voltage fluctuations from the nominal value due to abrupt changes are analyzed
Keywords: deviations and fluctuations voltage, parameters of electric power quality, reactive power, voltage losses

Відповідно до стандартів всі параметри якості електроенергії діляться на статичні та динамічні [1, 2]. Такий поділ зумовлений важливою кваліфікаційною ознакою – часовим розподілом.

До статичних належать повільні відхилення та коливання частоти повторення та середньоквадратичного значення напруги в електричних мережах. Динамічними вважають такими, що характеризують швидкі і повільні відхилення миттєвих значень напруги мережі за час, дещо більший від однієї половини періоду повторення та провали напруги мережі. Саме до таких параметрів відноситься відхилення напруги при коливанні її амплітуди викликаного обвідною різкозмінного навантаження.

Взаємозв'язок відхилення та коливання напруги можна встановити, виходячи із співставлення спокійної і еквівалентної її потужності різкозмінного навантаження. Відомо, що середньоквадратичні значення повної, активної та реактивної потужностей різкозмінних навантажень, що представляють випадковим процесом з відомими числовими характеристиками, еквівалентні відповідним потужностям спокійного навантаження.

Коливання напруги приводить до зростання її еквівалентного значення і до збільшення споживаного із мережі струму. Це в свою чергу приводить до збільшення втрат напруги в мережі, які в залежності від характеру їх зміни відносяться або до відхилення, або до коливання напруги.

Миттєве значення втрат напруги в мережі визначається з виразу:

$$U_в(t) = \frac{Q(t)}{S_{кз}}, \tag{1.1}$$

де $Q(t)$ – миттєве значення реактивної потужності навантаження;

$S_{кз}$ – потужність короткого замикання у вузлі вмикання різкозмінного навантаження.

Із еквівалентності реактивних навантажень електроприймачів із спокійним і різкозмінним характером навантаження слідує рівність втрат напруг в мережах з такими навантаженнями:

$$\frac{Q_{ек}}{S_{кз}} = \frac{\sqrt{m_Q^2 + \sigma_Q^2}}{S_{кз}}, \tag{1.2}$$

або

$$U_{век} = \sqrt{m_{Uв}^2 + \sigma_{Uв}^2}, \tag{1.3}$$

де m_Q, $m_{Uв}$ та σ_Q, $\sigma_{Uв}$ – відповідно середні та середньоквадратичні значення реактивної потужності та втрат напруги в мережі.

Середньоквадратичне значення втрат напруги в мережі з різкозмінними навантаженнями $\sigma_{Uв}$ визначається як повільними змінами напруги в мережі, так і швидкими, що відповідають його коливанням.

Значення $\sigma_{Uв}$ може бути визначене на основі спектральної теорії випадкових процесів наступним чином [3]:

$$\sigma_{Uв}^2 = \int_0^\infty G(\omega) \cdot d\omega, \tag{1.4}$$

де $G(\omega)$ – енергетичний спектр втрат напруги в мережі, тобто обвідної напруги з частотою 50 Гц.

Розбиваючи інтервал інтегрування у виразі (1.4) на частини, що відповідають відхиленням $0 \div \omega_\Delta$ і коливанням $\omega_\Delta \div \omega_\sigma$ напруги, одержимо:

$$\sigma_{Uв}^2 = \sigma_\Delta^2 + \sigma_\sigma^2, \tag{1.5}$$

де σ_Δ та σ_σ – середньоквадратичні значення відхилення та коливання напруги.

Таким чином, величина еквівалентного відхилення напруги в мережі з різкозмінними навантаженнями рівне:

$$\delta U_{ек} = \sqrt{m_{Uв}^2 + \sigma_\Delta^2 + \sigma_\sigma^2}. \tag{1.6}$$

При нормальному законі розподілення змін напруги ця формула справедлива. Оскільки $\sigma_\sigma < \sigma_{Uв}$ з похибкою не більше ±10%, це відповідає значенню, яке вказане в роботі [4], $\delta U_{ек} = m_{Uв}$, тобто відхилення напруги в мережах з різкозмінним навантаженням доцільно визначати за середнім значенням напруги на протязі фіксованого інтервалу часу (часу спостереження). Слід відмітити, що застосування складних математичних методів з метою оцінки відхилення напруги недоцільно, оскільки це практично не підвищує точність розрахунків, а значно ускладнює їх.

Література

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения; введ. 2000-01-01. – К. : Держстандарт. – С. 31.
2. Ванько В. М. Проблеми контролю якості електроенергії в електричних мережах / В. М. Ванько, П. Г. Столярчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – № 58. – С. 47-56.
3. Кей С. М. Современные методы спектрального анализа / С. М. Кей, С. Л. Марпл // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике ТИИЭР. – 1981. – № 11. – Том 69. – С. 5-52.
4. Ванько В. М. Проблеми контролю якості електроенергії в електричних мережах / В. М. Ванько, П. Г. Столярчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – № 58. – С. 47-56.

УДК 539.42, 004.032.26,

Олег Ясній, докт. техн. наук, проф., Ірина Дідич
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна.

ПРОГНОЗУВАННЯ ДІАГРАМ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ ЗА ЗМІННОЇ АМПЛІТУДИ НАВАНТАЖЕННЯ

Анотація**.** Нейронні мережі застосовано для прогнозування діаграм втомного руйнування сталі 0,45% С при змінному навантаженні за коефіцієнта асиметрії циклу навантаження R = 0, –1. Отримані результати добре узгоджуються з експериментальними даними.
Ключові слова: ріст втомної тріщини, коефіцієнт інтенсивності напружень, асиметрія циклу навантаження, довговічність, нейронна мережа.

Oleg Yasniy, Dr. Science, Prof., Iryna Didych

PREDICTION OF FATIGUE FRACTURE DIAGRAMS BY NEURAL NETWORK UNDER VARIABLE AMPLITUDE LOADING

Abstract. Neural networks were used to predicted the fatigue crack growth diagrams for 0,45% C steel under variable loading at stress ratio R = 0, –1. The obtained results are in good agreement with the experimental data.
Keywords: fatigue crack growth, stress intensity factor, stress ratio, durability, neural network, machine learning.

Відповідальні елементи конструкцій часто експлуатують за навантажень змінної амплітуди. Підвищення їх довговічності є актуальною задачею та має велике економічне значення. В свою чергу, для оцінки міцності та довговічності елементів конструкцій важливо вміти прогнозувати швидкість росту втомної тріщини (РВТ). Таку задачу можна ефективно розв'язувати методами машинного навчання, зокрема нейронними мережі (НМ), котрі дозволяють досягти великої точності розв'язків [1,2].

Мета дослідження – спрогнозувати кінетичну діаграму втомного руйнування (КДВР) сталі 0,45% С за змінної амплітуди навантаження та асиметрії циклу навантаження R = 0, –1 методом НМ.

Елементи конструкцій руйнуються від втоми, поступово накопичуючи пошкодження і починаються з малої тріщини, котра зростає під дією навантаження. Втомна тріщина формується у концентраторі напружень – місці пошкодження, котре ослаблює область поперечного перерізу матеріалу, зокрема у якому збільшується навантаження. Тріщина підростає до тих пір, поки матеріал здатний витримувати навантаження. Тому основними чинниками, які впливають на міцність елементів конструкцій є поверхневі дефекти деталей, температура та зовнішнє середовище під час експлуатації, характер та умови навантаження.

Одним із методів машинного навчання, яким прогнозують дані, є НМ, котрі навчаються з учителем. Під навчанням з учителем розуміють цільовий вихід, який відповідає певним вхідним сигналам. Метод НМ мінімізує помилку сигналу, котра є різницею між вихідним сигналом і цільовим, постійно адаптуючи ваги нейронів.

У процесі навчання масив даних розділяють на дві нерівні частини – навчальну та тестову вибірки. Задачу прогнозування швидкості РВТ розв'язують, будуючи велику кількість НМ, котрі відрізняються, зокрема, кількістю нейронів у шарах та кількістю прихованих шарів. Тому мінімальна похибка, високий коефіцієнт кореляції між

цільовими та вихідними даними – параметри, за якими можна порівняти архітектури НМ [3].

Основними перевагами НМ є адаптивне навчання, обчислення у реальному часі, самоорганізація, стійкість до перебоїв та узагальнення.

Швидкість РВТ прогнозували за експериментальними даними, отриманими для сталі 0,45% С за асиметрії циклу навантаження R = 0, –1 [4]. Вибірка містила 200 елементів, з яких 70% вибрали випадково для навчальної вибірки, а 30% залишили, щоб оцінити якість прогнозування. Вхідними параметрами обрали коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) ΔK та асиметрію циклу навантаження R. Швидкість РВТ da/dN під час змінного навантаження за асиметрії циклу R = 0, -1 розглядали як вихідний параметр.

Залежності десяткового логарифма експериментальних швидкостей РВТ $\log_{10}(da/dN_{true})$ від десяткового логарифма прогнозованих швидкостей РВТ $\log_{10}(da/dN_{pred})$ за R = 0, –1 показано на рис.1. Важливо, що точки розташовані досить близько до бісектриси першого координатного кута, що свідчить про узгодженість прогнозованих та експериментальних даних [5].

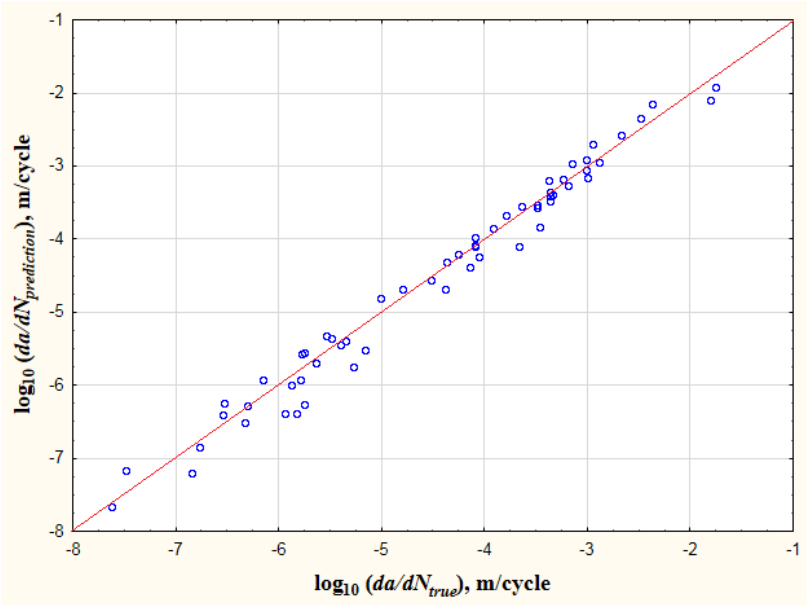


Рис. 1. Експериментальні $\log_{10}(da/dN_{true})$ та прогнозовані $\log_{10}(da/dN_{pred})$ дані десяткового логарифма швидкості РВТ за R = 0, –1

Похибка методу НМ для тестової вибірки становить 4,5%, параметри НМ наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Параметри нейромережі

Асиметрія циклу навантаження	Ім'я мережі	Алгоритм навчання	Функція помилки	Функція прихованої активації	Функція вихідної активації
R = 0, -1	MLP 2-6-1	BFGS	SOS	Логарифмічна	Експоненційна

Методом НМ побудовано (рис.2) експериментальні та прогнозовані залежності десяткового логарифма швидкості РВТ $\log_{10}(da/dN)$ від десяткового логарифма КІН $\log_{10}(\Delta K)$ за R = 0, -1.

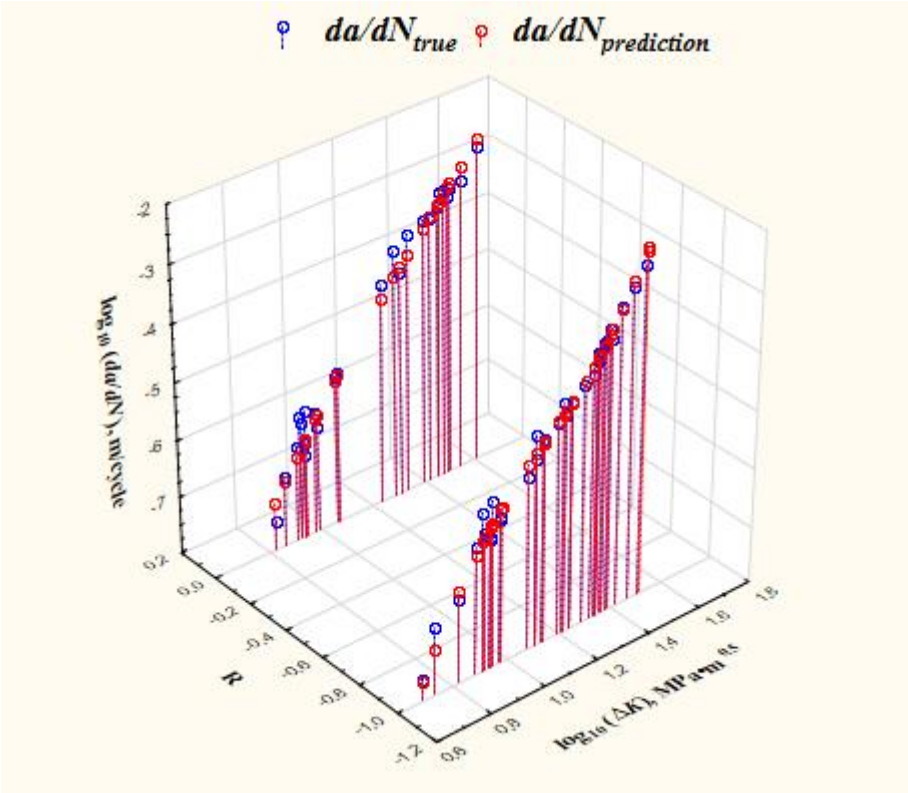


Рис. 2. Експериментальні $\log_{10}(da/dN_{true})$ та прогнозовані $\log_{10}(da/dN_{pred})$ залежності десяткового логарифма швидкості РВТ від десяткового логарифма КІН $\log_{10}\Delta K$ за R = 0, -1

Отримані результати добре узгоджуються з експериментальними даними. НМ є потужним та швидким методом машинного навчання, котрим оцінюють поведінку РВТ.

Література:

1. Application of artificial neural network for predicting fatigue crack propagation life of aluminum alloys / J. R. Mohanty, B. B. Verma, D. R. K. Parhi, D. R. Ray // Archives of Computational Mat. Sci. and Surf. Eng. – 2009. – **1**, № 3. – P. 133–138.
2. Прогнозування діаграм втомного руйнування алюмінієвого сплаву Д16Т методами машинного навчання / О. П. Ясній, О. А. Пастух, Ю. І. Пиндус, Н. С. Луцик, І. С. Дідич // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2018. – **54**, № 3. - С. 43–48.
3. Razavi, S.V. Using feed-forward back propagation (FFBP) neural networks for compressive strength prediction of lightweight concrete made with different percentage of scoria instead of sand [Електрон. ресурс] / S.V. Razavi, M.Z. Jumaat, A.H. EiShafie // International Journal of Physical Sciences. – 2011. – № 6 (6). – P. 1325-1331.
4. Assessment of lifetime of railway axle / O. Yasniy, Y. Lapusta, Y. Pyndus, A. Sorochak, V. Yasniy // International Journal of Fatigue. – 2013. – Vol. **50**. – P. 40–46.
5. Describing fatigue crack growth and load ratio effects in Al 2524 T3 alloy with an enhanced exponential model / C. A. R. P. Baptista, A. M. L. Adib, M. A. S. Torres, V. A. Pastoukhov // Mech. of Mat. – 2012. – 51. – P. 66–73.

УДК 621.88

Тарас Дубиняк[1] к.т.н., доц., Роман Комар[1] к.т.н., доц., Юлія Мельник[1], Олександра Манзій[2] к. фіз.-мат. н., доц.

[1] Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна

[2] Національний університет «Львівська політехніка», Україна

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВИМОГИ ДО ПРУЖНО-ЗАПОБІЖНИХ МУФТ

Анотація. Муфти є відповідальними вузлами різноманітних механізмів, оскільки з'єднують привідні вали машин і передають обертовий момент. Також дані пристрої захищають механізми від руйнування у разі виникнення критичного перевантаження.

Ключові слова: класифікація, перевантаження, муфта, обертовий момент, привід.

Taras Dubynyak, Roman Komar, Yuliia Melnyk, Oleksandra Manzii

CLASSIFICATION AND REQUIREMENTS FOR ELASTIC-SAFE MUFF

Annotation. Couplings are responsible knots of various mechanisms, since they connect the drive shafts of machines and transmit the torque. Also, these devices protect mechanisms from fracture in the event of a critical overload.

Key words: classification, overload, coupling, torque, drive.

Застосування муфт пов'язане з тим, що більшість машин, у тому числі і їхній привід, компонують із окремих складальних одиниць, що мають вхідні та вихідні вали. Такими складальними одиницями є, наприклад, двигун, редуктор, робочий орган машини тощо. Відповідно безпосередній кінематичний і силовий зв'язок між двигуном і редуктором, редуктором і робочим органом здійснюється за допомогою муфт. Потреба у муфтах виникає і в тих випадках, коли довгі вали за умовами технології виготовлення і складання або транспортування слід виготовляти з кількох складових частин.

Відповідно актуальною задачею приладобудування є розробка надійних, технологічних та простих в обслуговуванні багатофункціональних пружно-запобіжних пристроїв. Цього можна досягти розробкою нових вдосконалених конструкцій за рахунок комбінованого використання пружних гвинтових елементів [1].

Подальший розвиток сучасного приладобудування потребує універсальних, багатофункціональних, технологічних та високонадійних з'єднувальних пристроїв, які б забезпечували стабільність процесу функціонування машини чи механізму та характеризувалися високим коефіцієнтом корисної дії. Найпростіша компонувальна схема привода машини складається з двигуна, механічної передачі у вигляді редуктора або коробки швидкостей і робочого органу. Оскільки, у більшості випадків, двигун, редуктор та робочий орган машини не є ідеально співвісними, то безпосередній кінематичний та силовий зв'язок між ними здійснюється за допомогою пружно-компенсуючих муфт. Потреба у муфтах виникає і в тих випадках, коли неспіввісність задається технологічними факторами чи технічними умовами на складання. Також такі

муфти використовують коли похибки взаємного розміщення з'єднуваних валів виникають внаслідок експлуатаційних факторів.

Класифікацію характерів перевантажень приводів і робочих органів машин і механізмів представлено у вигляді схеми (рис. 1.1). Жорсткості приводу і робочого органу відповідно позначені C_1 і C_2. В залежності від їх характеристик можна виділити такі можливі варіанти виконання: 1 – C_{1max} , C_{2max}; 2 – C_{1max}, C_{2min}; 3 – C_{1min}, C_{2min}; 4 – C_{1min}, C_{2min}. Загальні критерії поділу важко встановити, але слід відмітити, що різкі перевантаження протікають в інтервалі сотих долей оберту привідного валу і тривалість їх наростання визначається швидкістю обертання та жорсткістю приводу і робочого органу, а також жорсткістю предмета який викликав дане перевантаження. Плавні перевантаження зростають в інтервалі долей оберту чи навіть кількох обертів привідного валу. Тому їх можна поділити по швидкості наростання на плавні і різкі.

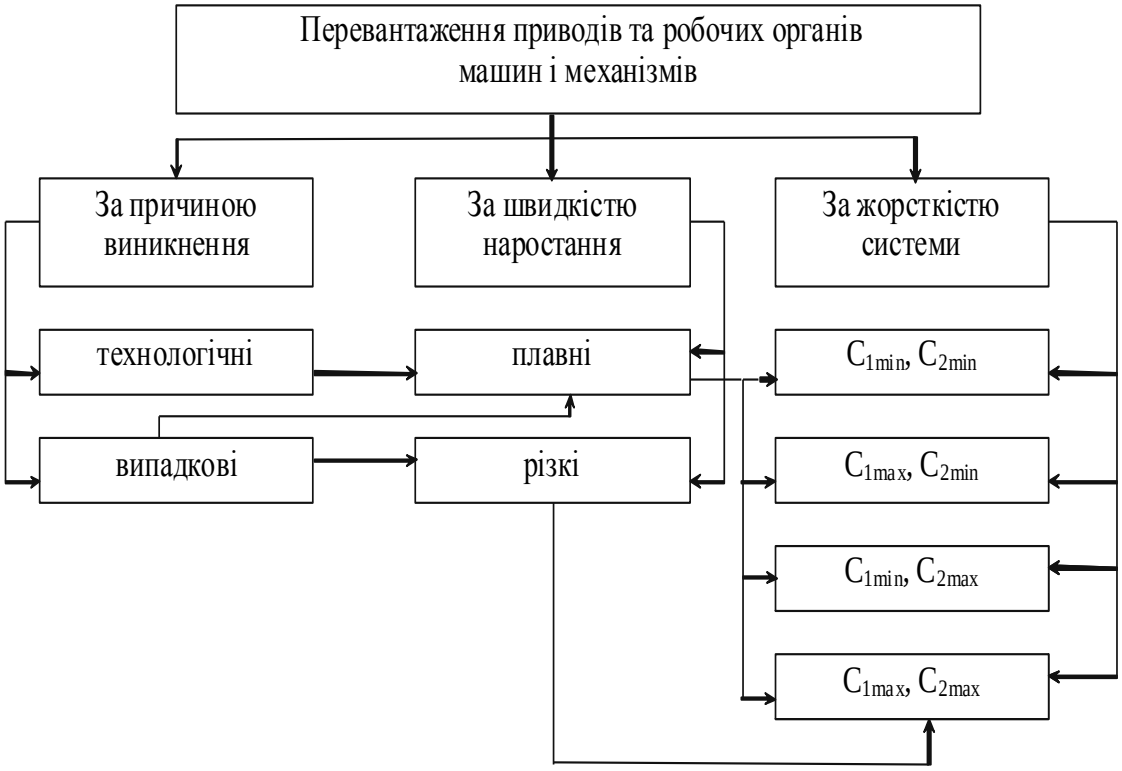


Рис. 1.1 – Класифікація характерів перевантажень машин і механізмів

Однак швидкість зростання граничного крутного моменту в значній мірі залежить від жорсткості приводу C_1 і робочого органу C_2, коли C_1 і C_2 є максимальними, то перевантаження будуть різкими, а у всіх інших варіантах жорсткості системи вони є плавними, або наближеними до них. Якщо жорсткість приводу C_1 і робочого органу C_2 є відносно високими, то їх захист від перевантажень задовільно можуть виконувати звичайні кулькові, кулачкові фрикційні запобіжні муфти. Проте багато робочих органів машин мають відносно невисоку жорсткість. Тому при проектуванні машин і механізмів завжди буде існувати проблема пошуку і використання в їх конструкціях ефективних захисних з'єднувальних елементів, які б володіли високими пружними, компенсаційними і запобіжними характеристиками [2].

Відповідно нами запропоновано класифікацію (рис. 1.2) муфт різних типів: запобіжних, пружно-запобіжних та пружних. Згідно даної класифікації запобіжні муфти поділяються на високочастотні імпульсного типу, до яких належать: кулачкові, кулькові, роликові, з конусоподібними пальцями і комбіновані; низькочастотні імпульсного типу, до яких належать: планетарні з різними елементами зачеплення, кулькові низькочастотні і роликові низькочастотні; реверсивні; із осьовим зміщенням валів; фрикційні; самовідключні; із руйнівними елементами. До пружно-запобіжних муфт відносять високочастотні та низькочастотні імпульсного типу (перелічені вище) і фрикційні з пружно-копенсуючих елементами.

До пружних муфт доцільно віднести різновиди муфт з металевими і неметалевими елементами. Неметалеві пружні елементи, виготовлені з гуми чи пластмаси, отримали широке використання в сучасному приладо- і машинобудуванні завдяки відносній простоті конструкції, задовільним компенсаційним та демпфуючим властивостям. Розрізняють муфти: пружні втулково-пальцеві; із пружним елементом у вигляді диска, зірочки, кульок, роликів, корда та тороподібною пружною оболонкою. Але під дією зовнішнього середовища, змінних температур, абразиву та інших факторів такі пружні елементи швидко втрачають експлуатаційні властивості та зазнають руйнування. Через вище вказані недоліки в більшості промислових машин доцільно використовувати металеві пружні елементи, які характеризуються високою навантажувальною здатністю, надійністю, значним ресурсом експлуатації та можливістю функціонування в агресивних середовищах і при різних температурах. В муфтах з металевими пружними елементами в якості останніх використовують різної форми пружини: гвинтові, пластинчасті, змієподібні, стержневі, криволінійні, гільзові, пружинні кільця.

Запропонована класифікація [3] дозволяє систематизувати дані пристрої за конструктивними особливостями та функціональним призначенням, що дозволить під час проектування муфт розробляти і використовувати пристрої з розширеними функціональними можливостями, які поряд з функцією відключення робочого органу машини від приводу при виникненні перевантаження, можуть працювати як пружні, пружно-запобіжні чи пружно-компенсуючі. Також при проектуванні муфт необхідно враховувати характери перевантажень машин і механізмів. А дотримання вимог (технічних, технологічних, експлуатаційних), які висуваються до муфт відповідно вище наведених класифікаторів, забезпечить високу надійність при значному терміні експлуатації такого роду пристроїв.

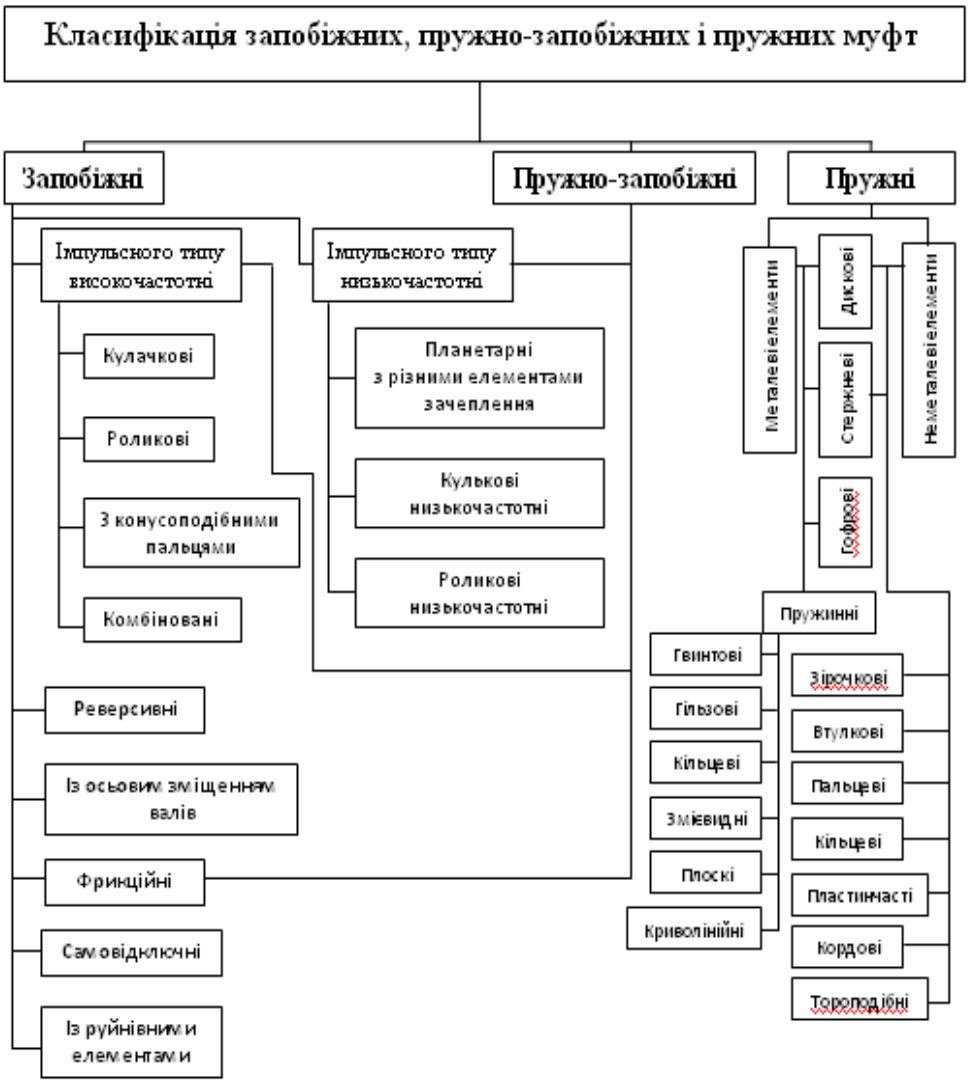


Рис. 1.2 – Класифікація запобіжних, пружно-запобіжних і пружних муфт

Література

1. Гевко І.Б. Розробка і дослідження низькочастотних пристроїв для виконання технологічних процесів гнучкими гвинтовими конвеєрами : автореф. _ехн. На здобуття наук. Ступеня _ехн.. _ехн.. Наук : спец. 05.20.01 «Механізація сільськогосподарського виробництва» / І.Б. Гевко. – Луцьк, 1997. – 18 с.

2. Гевко Ів.Б. Експериментальна установка для дослідження привода гвинтового конвеєра оснащеного пружно-запобіжною муфтою / Ів.Б. Гевко, Т.С. Дубиняк, В.З. Гудь // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Механіка машин – основна складова прикладної механіки» присвячена 110-річчю з дня народження Кожевникова Сергія Миколайовича: 11 – 13 квітня 2017р.: тези доп. – Дніпро, 2017. – Ч. 2. – С. 306 – 307.

3. Комар Р.В. Обґрунтування параметрів з'єднувальних компенсуючих муфт з пружними гвинтовими елементами. Дис. канд. техн. наук: 05.02.02. / Р.В. Комар – Хмельницький, 2004. – 150 с.

УДК 615.477.21

Василь Дозорський, к.т.н., доцент, Леонід Дедів, к.т.н., доцент
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ БІОПРОТЕЗУВАННЯ

Проведено обгрунтування способу математичного моделювання електроміографічних сигналів у вигляді випадкового процесу з періодичними імовірнісними характеристиками, зокрема у вигляді адитивно-мультиплікативної суміші детермінованої функції та стаціонарного випадкового процесу.
Ключові слова: електроміографічний сигнал, математична модель, біопротез

Vasil Dozorskyi, Leonid Dediv

MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMYOGRAPHIC SIGNALS FOR THE PROBLEM OF BIOPROSTHESIS

The method of mathematical modeling of electromyographic signals in the form of a random process with periodic probabilistic characteristics, in particular as an additive-multiplicative mixture of deterministic function and a stationary random process, is substantiated.
Key words: electromyographic signal, mathematical model, bioprosthesis

Актуальність задачі протезування визначається зростанням кількості людей із пошкодженими або втраченими функціями окремих частин тіла. При цьому, протезування стає важливим етапом процесу соціально-трудової реабілітації людей із втраченими або незворотно пошкодженими кінцівками чи іншими складовими частинами опорно-рухового апарату. Так, 50% від загальної кількості випадків протезування припадають на протезування після ампутування верхньої кінцівки на рівні передпліччя. Наслідком таких ампутацій стає, насамперед, обмеження можливості самообслуговування та можливості займатися трудовою діяльністю. Тому, задача компенсації максимально можливої кількості втрачених функцій верхніх кінцівок шляхом протезування є актуальною для медицини.

Проведено аналіз та класифікацію типів протезів верхніх кінцівок і встановлено, що їх можна розділити на два класи: пасивні та активні. Протези першої групи в основному лише естетично відновлюють зовнішність кінцівок (косметичні протези) та деякі їхні функції (тягові протези). Більш функціональними є протези активної групи, зокрема біокеровані (біонічні) протези. Принцип їхньої роботи ґрунтується на формуванні керуючих сигналів шляхом відбору та опрацювання нервових імпульсів, що відображають команди центральної нервової системи, які вона надсилає до відповідних м'язів, провокуючи їх скорочення чи розслаблення. Таким чином, в біопротезі руки роль командних сигналів виконують нервові імпульси, що відводяться від усічених м'язів кукси (частини кінцівки, що залишилася після ампутації), а механізмом, який виконує визначені команди, є штучна кисть, яка оснащена блоком опрацювання та декодування відібраних біосигналів, групою мініатюрних приводів, які імітують рухи складових частин кисті, та автономним живленням. При цьому, проведений аналіз різних типів біопротезів, що є присутні на медичному ринку, показав, що кількість рухів, які можуть бути повторені біопротезом, є обмеженою і зазвичай не перевищує 17. Це значно обмежує можливості людей, які потребують протезування. Розширення кількості рухів (наприклад, рухи окремих пальців) є можливим у випадку відбору та належного опрацювання біосигналів, зокрема

електроміографічних (ЕМГ), зареєстрованих із усічених м'язів кукси, та наступної диференціації сигналів, що відповідають за забезпечення рухів, які повинні були б виконуватись у випадку збереженої кисті руки. Маючи такі диференційовані сигнали можна забезпечити відповідні рухи біопротеза. Також основним недоліком існуючих протезів є відсутність системи контролю сили захвату (робота виконавчого механізму вимагає безперервного зорового контролю за виконуваною дією). Тому, актуальним є завдання розроблення способів узгодження апаратної частини протезу із залишковими можливостями ділянки кінцівки, що підлягає протезуванню, з метою максимально повної компенсації втрачених функцій цієї кінцівки.

Як зазначалось вище, це можна зробити шляхом відбору та опрацювання залишкових сигналів електричної активності м'язів втраченої кінцівки з метою виділення ознак скорочень таких м'язів і формування сигналів керування відповідними приводами протеза. Для цього необхідно обґрунтувати методи такого опрацювання, які визначалися б адекватною математичною моделлю таких сигналів та поставленою задачею.

Шляхом аналізу структури експериментально відібраних з передпліччя ЕМГ сигналів при виконанні рухів окремих пальців кисті руки встановлено, що адекватна фізичній природі таких сигналів математична модель повинна враховувати коливну структуру цих сигналів, а адекватна поставленій задачі ідентифікації окремих рухів м'язів математична модель повинна враховувати випадкову складову ЕМГ сигналів та мати засоби оцінювання змін у часово-фазовій структурі цих сигналів.

Проведено аналіз відомих математичних моделей та методів опрацювання ЕМГ сигналів. Використання детерміністського підходу до задачі математичного моделювання ЕМГ сигналів не є коректним, оскільки сигнал характеризується значною варіативністю, неповторністю, що можна адекватно описати лише з використанням стохастичного підходу. Крім цього, необхідно, щоб математична модель враховувала часово-фазову структуру ЕМГ сигналів, оскільки вона є важливою та необхідною для ідентифікації ознак окремих рухів втраченої кисті, бо відображає інформацію про механізм породження ЕМГ сигналів. Модель також повинна описувати часову структуру ЕМГ сигналів.

Таким чином, адекватним фізичній природі ЕМГ сигналів та задачі виявлення ознак окремих рухів втраченої кисті та їхньої наступної ідентифікації є застосування до моделювання таких сигналів випадкових процесів з періодичними імовірнісними характеристиками, зокрема у вигляді адитивно-мультиплікативної суміші детермінованої функції та стаціонарного випадкового процесу. При цьому стає можливим застосування методів спектрально-кореляційного аналізу з метою виявлення ознак окремих рухів.

Література:

1. Славуцкий Я. Л. Физиологические аспекты биоэлектрического управления протезами. – М.: Медицина, 1982. – 289 с.
2. Попадюха Ю.А. Особливості біонічних протезів верхніх кінцівок / Ю.А. Попадюха // Молодіжний науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. – Луцьк : Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2017. − Вип. 25. – С. 26-42.
3. Архипов М.В. Обзор состояния робототехники в восстановительной медицине / М.В. Архипов, В.Ф. Головин, В.В. Журавлев // Механотроника, автоматизация, управление. – № 8. – Москва, 2011. – С. 42–50.
4. Методы биомехатроники тренажера руки человека / [А.К. Платонов и др.] // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. – 2012. – № 82. – 40 с.

ЗМІСТ

Секція: МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ 3

Григорій Габрусєв, к.ф.-м.н., доц., Ірина Габрусєва, к.т.н. 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПОПЕРЕДНЬО ДЕФОРМОВАНОЇ ТОВСТОЇ ПЛИТИ ПРИ ЇЇ КОНТАКТІ ІЗ ПАРАБОЛІЧНИМ ШТАМПОМ.....3

Людмила Давиденко[1], к.т.н., доц., Володимир Давиденко[2], к.т.н., доц., Ніна Давиденко[3], к.т.н. 7

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЦИКЛІЧНИХ ЗМІН ВОДОСПОЖИВАННЯ 7

Андрій Дівіцький, Антон Сторчак, Василь Некоз.....10

АТАКИ НА ДЕРЖАВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ 10

Катерина Зайчук, Ірина Лавренюк.....13

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ В СУЧАСНІЙ РОЗРОБЦІ.....13

Дмитро Іскра, Вячеслав Колодяжний, Михайло Ляшенко, к.ф.-м.н., с.н.с. 15

РОЗВИТОК РЕГІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІОНОСФЕРИ CERIM IION В РАМКАХ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ ПРОГНОЗУ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ 15

Павло Камуля, Іван Смолюх, к.т.н. Михайло Стрембіцький 19

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СТЕНДУ ДЛЯ ПОВІРКИ ЕНКОДЕРІВ 19

Вікторія Костенко, Владислав Соколенко, Владислав Саєнко, Дмитро Оболкін 22

ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ 22

Денис Костенко, Владислав Фрінцко, Вадим Гавриш, Ігор Коноваленко 25

ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ БАЗ ДАНИХ.....25

Роман Коцюрко, Ігор Лучейко, к.т.н., доц. 28

ТЕПЛООБМІННИЙ АПАРАТ ТИПУ «ЗМІШУВАННЯ–ЗМІШУВАННЯ» ЯК ПРОТОЧНИЙ РЕАКТОР ІДЕАЛЬНОГО ЗМІШУВАННЯ В НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ 28

Микола Луцків, д.т.н., проф., Олег Сідікі, аспірант.....30

СИНТЕЗ ТОНОПЕРЕДАВАННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ФЛЕКСОГРАФІЇ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ КВАДРАТНОЇ ФОРМИ 30

Тарас Лечаченко 32

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДУАЛЬНІЙ ОСВІТІ 32

Микола Луцків, д.т.н., проф., Гунько Данило, аспірант.....35

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РАСТРУВАННЯ НА ОСНОВІ НОРМОВАНОГО РАСТРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ КРУГЛОЇ ФОРМИ 35

В.П. Марценюк[1], д.т.н., проф., А.С. Сверстюк[2], к.т.н., доц.,.....37

Я.В. Литвиненко[3], к.т.н., доц., Н.В. Козодій[4] 37

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІОСЕНСОРНИХ ТА ІМУНОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ 37

Роман Мельник, проф., Руслан Тушницький, доц.....41

ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ОЗНАК СЕРЕДНЬОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЛЯ ПОРІВНЯННЯ ОБЛИЧ 41

Андрій Микитишин, к.т.н, доц., Петро Стухляк, д.т.н., проф., Олег Тотосько, к.т.н, доц.....45

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ 45

П.А. Ониськів, Я.В. Литвиненко, канд. тех. наук, доц.....48

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ.....48

Любомир Побережний, д.т.н., Михайло Микицей 50

ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНИХ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ У КОРОЗИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ 50

Андрій Пожуєв, доц.,к.ф.-м.н., Антон Фасоляк,к.т.н., ...52

Олена Міхайлуца, доц., к.т.н.....52

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ДИНАМІКИ ПІДЗЕМНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БІПОЛЯРНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ 52

Леонід Романюк, канд. техн. наук, доц.....54

ВРАХУВАННЯ ОСНОВНИХ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТУРБУЛЕНТНИХ ПРИМЕЖЕВИХ ТЕЧІЙ.....54

Олександра Самборська, канд. ф.-м. н., доц.....56

ПРО МОДЕЛЬ ТА ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ВОЛОКОН У ОДНОНАПРЯМЛЕНИХ КОМПОЗИТАХ 56

Орина Семененко, Ірина Лавренюк 59

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЯК ОДИН З НАЙПЕРСПЕКТИВНІШИХ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 59

Іван Смолюх, Павло Камуля 62

АЛГОРИТМУ РУХУ АВТОНОМНОГО РОБОТА ВИКОРИСТОВУЮЧИ ЗАЛЕЖНОСТІ ПРЯМОКУТНОГО ТРИКУТНИКА 62

Марія Стадник.....64

ОЦІНКА ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ УСТАЛЕНИХ ЗОРОВИХ ВИКЛИКАНИХ ПОТЕНЦІАЛІВ ЯК ОДНА З КЛЮЧОВХ ФУНКЦІЙ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОФТАЛЬМОДІАГНОСТИКИ.....64

Надія Тимофієва, д-р техн. наук, ст. наук. співр. 68

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СХЕМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ІЗ СЕМАНТИКИ 68

Борис Шелестовський, к. ф.-м. н., доц., Володимир Михайлишин 72

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В СИСТЕМІ ТІЛ ЦИЛІНДР-ПІВПРОСТІР.....72

Роман Юзефович[1,2], д.т.н., доц., Ігор Яворський[1,3], д.ф.-м.н., проф., Іван Мацько[1], к.т.н., Микола Варивода[1] 75

АНАЛІЗ ДИСПЕРСІЇ КОГЕРЕНТНОЇ ОЦІНКИ ВЗАЄМОСПЕКТРАЛЬНОЇ ГУСТИНИ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ.....75

Анна Яськів 79

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛОВОГО КЛЮЧА НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНОГО МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ДЛЯ ЙОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ 79

Секція: ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ В РАДІОТЕХНІЦІ І ПРИЛАДОБУДУВАННІ 81

Антон Абрамович, Володимир Піддубний, доц. 81

МОДИФІКОВАНА РАМОЧНА АНТЕННА ВИХРОСТРУМОВОГО ПРИСТРОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛІВ.....81

Микола Бугайов, к. т. н. 85

РЕКУРСИВНИЙ АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВАРІАЦІЇ.....85

Надія Бурау, д.т.н., проф., Карина Мішура.....87

ОБРОБКА СИГНАЛІВ СЕЙСМІЧНОГО ПРИЙМАЧА ПРИ ДИНАМІЧНИХ ЗБУРЕННЯХ МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ 87

Ірина Дедів, к.т.н, Леонід Дедів, к.т.н., доц., С. Макар 90

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ГОЛОСОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИ.....90

Ігор Зелінський, к.ф.-м.н., доц., Михайло Паламар, д.т.н., проф., Мирослава Яворська, к.т.н., доц. 92

МЕТОД ОПТИЧНОЇ ТРІАНГУЛЯЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ФОРМИ ДЗЕРКАЛА АНТЕНИ.....92

Володимир Лесів, Анатолій Марценюк.....95

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....95

О. Мишковець, старший викладач, А. Буда 99

ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ БАГАТОЧАСТОТНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ.....99

Михайло Паламар д.т.н., проф., Андрій Чайковський к.т.н., доц., Володимир Кругльов, Михайло Стрембіцький к.т.н., Юрій Пастернак.....102

МОДЕРНІЗАЦІЯ СТАНЦІЇ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ДІАПАЗОНІ НАДДОВГИХ ХВИЛЬ 102

П.П. Процик, к.т.н. В.Л. Дунець 105

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ МЕРЕЖ Wi-Fi 105

О.М. Сапегін, Г.Ю. Строкач 108

АКСЕЛЕРОМЕТРИЧНИЙ ІНКЛІНОМЕТР 108

Секція: СУПУТНИКОВІ ТА НАЗЕМНІ СИСТЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ 111

Ірина Дедів, к.т.н, Т.Качор 111

ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРОВАНОЇ КАБЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ 111

Григорій Химич, Юрій Умзар, к.т.н., доц., Олександр Мулик, Віталій Черній 114

ОПТИМІЗАЦІЯ ОФСЕТНОЇ АНТЕНИ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ВИКОРИСТАННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ РЕФЛЕКТОРА. 114

Мирослава Яворська, к.т.н., доц., Ігор Зелінський, к.ф.-м.н., доц., Михайло Паламар, д.т.н., проф., Тарас Горин 118

ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ОПТИЧНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОВЕРХНІ РЕФЛЕКТОРА АНТЕНИ 118

Секція: ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ 122

Тетяна Ковальова, Андрій Мазур 122

ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ НА IR2153 122

Володимир Тромсюк, к.т.н.; Артем Метелиця 125

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КОНДЕНСАТОРІВ НА ЗАПУСК AC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ 125

Сергій Цирульник, к.т.н., доц., Валентина Вернигора, Василь Ткачук 128

ЛАБОРАТОРНИЙ МАКЕТ «ІМПУЛЬСНИЙ БЛОК ЖИВЛЕННЯ» 128

Секція: БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ 132

Дмитро Вакуленко, д. біол. н., проф., Олена Гевко, к.м.н., доц., Людмила Вакуленко, к.м.н., доц. 132

ВПЛИВ ПРИРОДНІХ ЗВУКІВ НА МОРФОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АРТЕРІАЛЬНОЇ ОСЦИЛОГРАМИ 132

Олег В'юницький, Вячеслав Шульгін, проф., Олександр Тоцький, проф., Валерій Шаронов, доц. 135

АНАЛІЗ СЕРЦЕВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПЛОДУ У ХОДІ ВАГІТНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІСПЕКТРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ АБДОМІНАЛЬНИХ СИГНАЛІВ 135

Оксана Дозорська 139

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДІВ ОПРАЦЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНИХ І ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ОПОСЕРЕДКОВАНОГО ВІДНОВЛЕННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ЛЮДИНИ 139

Павло Тимків, Любомир Демчук 142

ROC-АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ НИЗЬКОІНТЕНСИВНОГО ЕЛЕКТРОРЕТИНОСИГНАЛУ 142

Роман Ткачук, д.т.н., проф., А. Ткачук 146

НЕДОЛІКИ ДРЕНАЖНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИВЕДЕННЯ ВНУТРІШНЬООЧНОЇ РІДИНИ ПРИ ГЛАУКОМІ 146

А. Ткачук, Роман Ткачук, д.т.н., проф. 149

СИСТЕМА ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИВЕДЕННЯ ВНУТРІШНЬООЧНОЇ РІДИНИ ПРИ ГЛАУКОМІ 149

Лілія Хвостівська, МиколаХвостівський, к.т.н., доцент, Галина Осухівська, к.т.н., доцент 153

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛУ 153

Євгенія Яворська, к.т.н., доц., Оксана Стрембіцька 155

ВИКОРИСТАННЯ СИНФАЗНОГО МЕТОДУ ОПРАЦЮВАННЯ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ОЦІНКИ ПСИХОЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ПАЦІЄНТА У СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ПРАКТИЦІ 155

Володимир Яськів 159

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ МАГНІТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ 159

Секція: АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМПЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА 163

Хальдун Араффа 163

ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ДЛЯ НИЖНІХ КІНЦІВОК ДВОНОГИХ РОБОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕВЕРНУТОГО МАЯТНИКА 163

Батюк Віталій, Михайло Стрембіцький, к.т.н. 165

ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ 165

Роман Галаган, к.т.н., доц., Александр Муравьёв, к.т.н., Александр Томашук, аспирант ... 169

МОДЕЛЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЗ СМАЗАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА И ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ 169

Роман Джала, д.т.н., Богдан Вербенець, к.т.н., Мар'ян Мельник, к.т.н., Юрій Пугач, Оксана Семенюк, Олег Сенюк, Орест Червінка 172

НОВІ ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАНЬ СТРУМІВ І ПОТЕНЦІАЛІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОБСТЕЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ 172

Ігор Добротвор, д. т. н., доц. 175

ХАРАКТЕРИСТИКА КІНЕТИКИ МІКРОСТРУКТУР КОМПОЗИТІВ УМОВАМИ КОЛИВНОСТІ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ 175

Богдан Дурняк, д.т.н., проф., Микола Луцків, д.т.н., проф. 180

УПРАВЛІННЯ З ВИПЕРЕДЖЕННЯМ У СИСТЕМАХ З НЕЧІТКИМ КОНТРОЛЕМ .180

Вікторія Зимовець 183

КАТЕГОРІЙНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНОГО ФАКТОРНОГО КЛАСТЕР-АНАЛІЗУ ДІАГНОСТИЧНИХ ДАНИХ 183

Василь Каретін, м.н.с., Андрій Курко, к.т.н., доц., Михайло Михайлишин, к.ф.-м.н., доц. 186

АВТОМАТИЗОВАНА РЕЄСТРАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТУЖНОСТІ ІНЕРЦІЙНОГО ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРУ МОМЕНТУ 186

Юрій Капаціла к.т.н., доц., Богдан Капаціла 188

АВТОМАТИЗАЦІЯ РУХУ ТРАНСПОРТУ ЗАСОБАМИ КОМУНІКАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ 188

Валерій Кирилович, д.т.н., проф., Антон Кравчук 190

АВТОМАТИЗОВАНА АТЕСТАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ ЗОН ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ: НЕОБХІДНІСТЬ ТА СУТНІСТЬ.....190

Ігор Козбур, Олександр Шовкун, Володимир Савків, к.т.н., доц., ...192

Роман Михайлишин, к.т.н. 192

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ І ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ПРИВОДА ЖИВИЛЬНИКА З ФАЗОВИМ АВТОМАТИЧНИМ ПІДЛАШТУВАННЯМ ЧАСТОТИ ЗБУДЖЕННЯ 192

Ігор Коноваленко, к.т.н, доц., Павло Марущак, д.т.н., проф., Любомир Мосій 197

СЕМАНТИЧНА СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПОВЕРХОНЬ, ПОШКОДЖЕНИХ ПІТИНГОВОЮ КОРОЗІЄЮ, ЗА ДОПОМОГОЮ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ 197

Валерій Мартинюк, д.т.н., проф. 200

ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ЗАХИСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАГРІВАЧІВ ВОДИ.....200

Володимир Медвідь, Ірина Бєлякова, Вадим Пісьціо 204

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО БАЛАСТУ З ПСЕВДО-ВИПАДКОВИМ КЕРУЮЧИМ СИГНАЛОМ ДЛЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМПАМ ВИСОКОГО ТИСКУ.....204

Андрій Паламар 208

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ INTERNET OF THINGS.....208

Михайло Паламар д.т.н., проф., Михайло Стрембіцький к.т.н., Андрій Чайковський к.т.н., доц., Юрій Пастернак, Володимир Кругльов 210

НАВЧАННЯ ЗГОРТАЛЬНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ.....210

Михайло Паламар, д.т.н., проф.[1], Мирослава Яворська, к.т.н., доц.[1], Володимир Суходольський[2] 214

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ КРОКУЮЧОГО РОБОТА 214

Михайло. Петрик, д. ф.-м. н., проф., Петро Теслюк 218

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ERP-СИСТЕМ ДЛЯ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ 218

Олег Петришин[1], Любомир Монастирський[1], професор; Андрій Власов[2], кандидат наук ..220

ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА РОЗРОБЦІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІЇ 220

Вадим Пуйденко, заступник директора з НВР, спеціаліст вищої категорії 222

МАТЕМАТИЧНА ТА КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛІ БЛОКУ ДОСТОВІРНОСТІ КЕШ-ПАМ'ЯТІ АРХІТЕКТУРИ IA-32 222

Роман Рогатинський, д.т.н., проф., Олена Дмитрів, к.т.н., доц., Дмитро Дмитрів, к.т.н., доц., Юрій Никеруй 226

ПОЗИЦІЮВАННЯ СКЛАДНИХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ 226

Володимир Савків, к.т.н., доц., Роман Михайлишин, к.т.н., Франтішек Духон к.т.н., проф., Міхал Келемен, к.т.н., проф. 229

АНАЛІЗ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННОГО ЗАХОПЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ ТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ 229

Володимир Савків, к.т.н., доц., Роман Михайлишин, к.т.н., Вадим Пісьціо 233

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННИХ ЗАХОПЛЮЮЧИХ ПРИСТРОЯХ 233

Олег Сінькевич[1], Любомир Монастирський[1], д. ф.-м. н., проф., Богдан Соколовський[1], к. ф.-м. н., доц., Зіновій Матчишин[2] 237

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ РОЗУМНОГО БУДИНКУ 237

Олександр Ступак, Сергій Цибульник, к.т.н. 241

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПЛОСКОГО ВАЖІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ПРОГРАМНИМИ ЗАСОБАМИ 241

Анна Ткач 245

СКЛАДНОЩІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ 4G ТА 5G В УКРАЇНІ 245

Богдан Трембач[1], асистент, Ростислав Трембач[2], к.т.н., доц., Ігор Добротвор[3], д.т.н., доц. 247

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ КООРДИНАТ ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ 247

Петро Федорів[1], Ігор Федорів[2] 250

ВИКОРИСТАННЯ СТРУМЕНЕВИХ ПРИВОДІВ У ВАЖІЛЬНИХ ЗАТИСКНИХ ПРИСТРОЯХ 250

Роман Чернега 252

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ УСТАНОВКИ ГІДРООЧИСТКИ КЕРОСИНУ 252

Ігор Чихіра к.т.н, доцент, Віталій Левицький, к.т.н., Артур Микитишин 256

ЕТАПИ ОПТИМІЗАЦІЇ БАЗ ДАНИХ 256

Юрій Шепетуха, к.т.н., с.н.с., Олександр Волков, Микола Комар 258

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ 258

Олег Шкодзінський, к.т.н., доц., Михайло Луцків 261

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ОБЛІК АВТОРСЬКИХ ПРАВ РОЗРОБНИКІВ НА ЕЛЕКТРОННІ НАВЧАЛЬНІ КУРСИ У СЕРЕДОВИЩІ ATUTOR 261

Олександр Шовкун, Ігор Козбур.....263

РЕЗОНАНСНИЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ВІБРАЦІЙНИЙ ПРИВОД ЖИВИЛЬНИКА З ФАЗОВИМ ПІДЛАШТУВАННЯМ ЧАСТОТИ ЗБУДЖЕННЯ 263

Якубовський Олександр; Родіонов Павло, к.е.н., ст. викл. 265

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОГРАМ OpenGL 265

Секція: СВІТЛОТЕХНІКА І ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА 268

Олег Буняк, к.т.н., доц., Сергій Бабюк, к.т.н., Іван Сисак, к.т.н. 268

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТОМЕРЕЖІ 268

Олег Буняк, к.т.н, доц., Тетяна Концоградa.....271

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СПОЖИВАЧІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНІ ТАРИФИ НА ВИРІВНЮВАННЯ ДОБОВОГО ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ.....271

Віталій Бурмака, Микола Тарасенко, д. т. н., проф. 273

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУМІЩЕНОГО ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ СХОДОВИХ КЛІТОК 273

Олександр Вакуленко, Петро Оліярник, Андрій Бартків 278

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ВИСОКОЇ НАПРУГИ.....278

Олександр Вакуленко, Віктор Решетник, Любомир Петренко.....281

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ 281

Євген Гончаров, к.т.н., доц.....284

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ОБМЕЖУВАЧА СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ 284

Володимир Закордонець, к. ф.-м. н., доц., Наталія Кутузова.....287

СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ СВІТЛОДІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ ОХОЛОДЖЕННЯ 287

Мирослав Зінь, к.т.н., доц., Юрій Підгайний 290

ВИСОКОШВИДКІСНІ ГІДРОТУРБІНИ З ТРЬОМА АБО ДВОМА ЛОПАТЯМИ НА РОБОЧОМУ КОЛЕСІ ДЛЯ НИЗЬКОНАПІРНИХ МІКРОГЕС 290

Віктор Кислюк, Іван Козак, Андрій Галінський, Микола Тарасенко, д.т.н., проф. 292

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ РІШЕНЬ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ 292

Коваль Вадим, к.т.н., доц. 294

СУМІЩЕНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІД ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ 294

Катерина Козак к.т.н., доц.; Богдан Леуш 295

ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНО-ВІТРОВИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ 295

Катерина Козак, доц., Віктор Хомишин 297

ВАЖЛИВІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРАКТИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В СМАРТ МІСТАХ 297

Олег Кондратюк 300

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ В ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ 300

Марія Котик 303

КІНЕТИКА ФЛЮОРИСЦЕНЦІЇ МОЛЕКУЛ ХЛОРОФІЛУ 303

Наталія Куземко, к.т.н., доц. 305

МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРИСКОРЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК З ВРАХУВАННЯМ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ 305

Курочкін Д.О. 307

АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ. 307

Микола Липовецький, Мирослав Наконечний, к.т.н., Володимир Андрійчук, д.т.н., проф. 309

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ЖИВЛЕННЯ НА СПЕКТРИ СИНЬОГО ТА ЧЕРВОНОГО СВІТЛОДІОДІВ 309

Анатолій Лупенко, докт. техн. наук, Тарас Чомко 311

БАГАТОСЕКЦІЙНИЙ РЕЗОНАНСНИЙ ІНВЕРТОР З КОРЕКЦІЄЮ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ 311

Lukman Ahmed Omeiza, Lecturer; Dr, Salawudeen Ahmed Tijjani, Lecturer 313

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF GEREGU ELECTRICAL POWER NETWORK 313

Володимир Медвідь, Ірина Белякова, Вадим Пісьціо 317

ЗАПОБІГАННЯ АКУСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ В РОЗРЯДНИХ ЛАМПАХ ВИСОКОГО ТИСКУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПСЕВДО-ВИПАДКОВОГО ЖИВЛЕННЯ ...317

Володимир Медвідь, Ірина Белякова, Вадим Пісьціо 321

РОЗРАХУНОК СВІТЛОДІОДНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ НОСІЇВ ЗОВНІШНЬОЇ РЕКЛАМИ.....321

І.А. Немировський,к.т.н., ст. н.сп., О.В. Булгаков.....325

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....325

Богдан Оробчук, к.т.н., доц., Ігор Гаврилюк 329

АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ВИСОКОВОЛЬНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....329

Богдан Оробчук, к.т.н., доц., Тарас Дзьобко 332

ВИКОРИСТАННЯ ТЕЛЕКОМУНКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГГІЙ В СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ.....332

Я.М. Осадца, к.т.н., Б.А. Саханевич, С.Ю. Поталіцин 335

СТАБІЛІЗАЦІЯ ВЕЛИЧИНИ ПУСКОВОГО СТРУМУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.....335

Віктор Хомишин, Катерина Козак, к.т.н, доц.....336

АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ 336

Анатолій Якунін, к.т.н., доц. 338

УЗАГАЛЬНЕНЕ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ІНВАРІАНТНЕ ПОДАННЯ ПРОЦЕСІВ У ЛІНІЯХ З МАЛИМИ ВТРАТАМИ 338

Л.Я. Побережна, к.т.н., Л.Я. Побережний, д.т.н. 341

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗАСОЛЕННЯ ҐРУНТІВ НА ЇХ ОПІР ТРИВАЛОМУ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ.....341

М.А. Шуфнарович, к. т. н. 345

КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ГРУНТАХ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖ 345

П.П. Гаврилюк 349

ОРГАНІЧНИЙ СВІТЛОДІОД.....349

Д. Кривко 351

ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ.....351

П.М. Микулик.....354

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОПРИЙНЯТИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ВІДХИЛЕННЯ ТА КОЛИВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ 354

Олег Ясній, докт. техн. наук, проф., Ірина Дідич 356

ПРОГНОЗУВАННЯ ДІАГРАМ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ НЕЙРОННИМИ МЕРЕЖАМИ ЗА ЗМІННОЇ АМПЛІТУДИ НАВАНТАЖЕННЯ 356

Тарас Дубиняк[1] к.т.н., доц., Роман Комар[1] к.т.н., доц., Юлія Мельник[1], Олександра Манзій[2] к. фіз.-мат. н., доц. 359

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ВИМОГИ ДО ПРУЖНО-ЗАПОБІЖНИХ МУФТ 359

Василь Дозорський, к.т.н., доцент, Леонід Дедів, к.т.н., доцент 363

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ БІОПРОТЕЗУВАННЯ 363

Наукове видання

Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РАДІОТЕХНІКИ, ПРИЛАДОБУДУВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця

20-21 червня 2019 року

Збірник тез доповідей

Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції, 20-21 червня 2019 року: збірник тез доповідей. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2019. – 376 с.

ISBN 978-617-7331-85-7

Підписано до друку 13.06.2019 р. Формат 60×90, 1/16.
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Умовно-друк. арк. 21,02. Наклад 100 прим.
Замовлення № 13062019

*****

Друк ФОП Паляниця В.А.
Свідоцтво ДК №4870 від 20.03.2015 р.
м. Тернопіль, вул. Б. Хмельницького, 9а, оф. 38
тел. (0352) 528-777

05.02.1939 - 02.02.2017

ПРОЦЬ ЯРОСЛАВ ІВАНОВИЧ
к.т.н., професор.

Учений в галузі робототехніки, засновник кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, дійсний член Підйомно-транспортної академії України.

Нагороджений нагрудними знаками «Відмінник освіти України» та «Петро Могила».

Закінчив Львівський політехнічний інститут в 1965 році.

Основні етапи професійної діяльності:

1968–1977 — асистент кафедри технології металів, верстатів та інструментів Тернопільського філіалу Львівського політехнічного інституту;

1977–1984 — старший викладач кафедри технології машинобудування ТФЛПІ;

з 1983 — кандидат технічних наук. Дисертацію на тему: «Струменеві захвати для автоматизації технологічного обладнання» захистив у 1983 році на спеціалізованій вченій раді МВТУ ім. М.Е. Баумана. Науковий керівник — доц. Усов Б. А.;

1987–2014 — завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв ТНТУ;

з 2008 — присвоєно вчене звання професора кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв ТНТУ.

Основні наукові напрямки — розробка та дослідження струминних елементів автоматичних пристроїв для автоматизації завантаження, орієнтування, транспортування, селекції та контролю технологічних об'єктів. Є автором 188 публікацій. Підготував 3-х кандидатів наук.

ISBN 978-617-7331-85-7