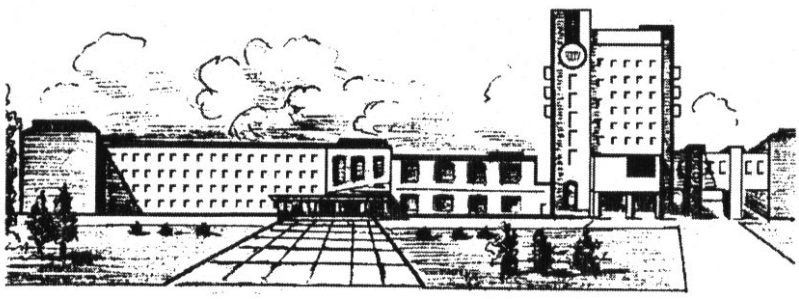
ISSN 2225-7551

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 1 (77)

Чернігів 2015

УДК 62/69+004
ББК 30/35
В53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 1 від 26.01.2015 р.). «Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» включено до нового переліку наукових фахових видань України, затвердженого постановою Президії ВАК України від 01.07.2010 р. № 1-05/5 (Бюлетень ВАК України № 7, 2010).

З 2013 року «Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» включений у міжнародну наукометричну базу даних eLIBRARY.RU (ліцензійний договір № 246-04/2013 від 29 квітня 2013 року).

Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збірник / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (77). – 222 с.

В53

У цьому випуску «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: механіки, механохімії, інтегрованих технологій машинобудування та автотранспорту, технологій зварювання, інформаційно-комп’ютерних технологій, енергетики, технологій легкої і харчопереробної промисловості та технологій охорони праці та природокористування. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів та закладів НАН України.

«Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки”» буде корисним для науковців різних галузей технічних наук, науково-технічних працівників, аспірантів, магістрантів та студентів вищих технічних навчальних закладів.

УДК 62/69+004
ББК 30/35

Головний редактор:
Казимир В.В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи.
Заступник головного редактора:
Пилипенко О.І., доктор технічних наук, професор.
Члени редакційної колегії:
Болотов Г.П., доктор технічних наук, професор;
Вархола Міхал, професор, Президент Академічного співтовариства Михайла Балудянського, Словаччина;
Волков І.В., доктор технічних наук, професор;
Денисов Ю.О., доктор технічних наук, професор;
Дубенець В.Г., доктор технічних наук, професор;
Дудла І.О., доктор технічних наук, доцент;
Кальченко В.І., доктор технічних наук, професор;
Кальченко В.В., доктор технічних наук, професор;
Литвинов В.В., доктор технічних наук, професор;
Сенько В.І., доктор технічних наук, професор;
Сиза О.І., доктор технічних наук, професор;
Скоробогатова В.І., доктор технічних наук, професор;
Харченко Г.К., доктор технічних наук, професор;
Чередніченко П.І., доктор технічних наук, професор;
Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;
Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;
Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal “Electrical, Control and Communication Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia;
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K;
Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.

Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 14994-3966 ПР від 27.02.2009 р.

© Чернігівський національний технологічний університет, 2015

ISSN 2225-7551

ISSN 2225-7551

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

VISNYK

CHERNIHIV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

SERIES "TECHNICAL SCIENCES"

SET OF SCIENTIFIC WORKS

ISSUE № 1 (77)

Chernihiv 2015

UDC 62/69+004
LBC 30/35

Published by the decision of the Academic Council of the University (protocol № 1 of dated 26.01.2015). Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" is included in the new list of academic editions of Ukraine, approved by the Resolution of the Presidium of the HAC of Ukraine of 01.07.2010 № 1-05/5 (Bulletin of HAC of Ukraine № 7, 2010).

Since 2013 Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" has been included in the international scientometric database eLIBRARY.RU (license agreement № 246-04\2013 of April 29, 2013).

Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences": scientific collection / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2015. – № 1 (77). – 222 p.

This issue of Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" contains the articles on theoretical and experimental research in the field of Engineering science: mechanics, mechanochemistry, integrated technologies of machinery and motor transport, welding technology, information and computer technologies, power engineering, technologies of light and food industry and technologies of labor protection and natural resource management. The articles are written by the scientists, postgraduates, masters students, students and reviewed by the higher technical educational establishments and the institutions of the National Academy of Sciences of Ukraine (NAS).

Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences" will be useful for the scientists in different fields of technical sciences, scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of the higher technical educational establishment.

UDC 62/69+004
LBC 30/35

Editor in chief:
Kazymyr V.V., Vice-rector for scientific work, Doctor of Technical Sciences, Professor.
Deputy Editor in chief:
Pilipenko O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor.
Members of the Editorial Board:
Bolotov H.P., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Varchola Michel, Professor, President of the Academic society of Michal Baludansky, Slovakia;
Volkov I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Denysov Yu.A., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Dubenets V.H., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Dudla I.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
Kalchenko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Kalchenko V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Lytvynov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Senko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Syza O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Skorobohatova V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Kharchenko H.K., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Cherednichenko P.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;
Dmitri Vinnikov, Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;
Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;
Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal "Electrical, Control and Communication Engineering", Riga Technical University, Riga, Latvia;
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K;
Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.

Founded in 1996. Certificate of State registration
KV № 14994-3966 PR of 27.02.2009.

© Chernihiv National University
of Technology, 2015

ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

Балюнов О.О. Дослідження магнітопружного стану циліндричної панелі залежно від радіуса 9
Болотов М.Г., Ганєєв Т.Р., Прибитько І.О. Дослідження механічних властивостей та структурної неоднорідності цегли 13
Пасов Г.В., Венжега В.І. Анімаційне моделювання кульково-гвинтових передач для створення прямолінійного поступального руху 19

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

Бондарь Е.С., Курмакова И.Н., Макей А.П. Ингибирующее действие сока Aloe Vera и композиций на его основе при коррозии малоуглеродистой стали 26
Горбенко П.К., Ковтун А.А., Рогоза А.В., Шоломий Ю.Е. Термолюминесценция облученных рентгенлучами кристаллов KCL и KCL:LICL 31
Комаха В.О., Свідерський В.А. Енергетичний стан поверхні модифікованих карбонатних наповнювачів 34

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

Войтенко В.П., Рудаков С.О. Визначення серцевої активності вбудованим датчиком тиску апарата для гемодіалізу 40
Міщенко А.В. Питання інформаційної безпеки в аспекті підвищення цільової ефективності авіатранспортного комплексу 47
Нежурин В.И., Абрамов С.А. Совершенствование печей ресурсосберегающих технологий в условиях машиностроительного производства 51
Рудик А.В., Венжега В.І., Рудик В.А. Продуктивність високоефективного поздовжнього глибинного шліфування поверхонь обертання периферією та торцем орієнтованого абразивного інструменту 59
Деркач О.Л. Розрахунок нестаціонарних коливань транспортного засобу з п'єзоелектричними активними накладками при випадковому кінематичному збудженні 64

РОЗДІЛ ІV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Лаврова Е.В. Разработка универсальной кинематической схемы устройства для наплавки под флюсом ленточным электродом с управляемым переносом электродного металла 71

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Казимир В.В., ХарченкоМ.В. Управляючі веб-портали та їх властивості 75
Литвинов В.В., Богдан И.В. Автоматизированная система верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения 83
Двоєглазова М.В. Дослідження процесу функціонування інтегрованої інформаційної системи підприємства та проекту 90
Заріцький О.В., Судік В.В. Класифікація сучасних інформаційних систем моделювання та управління людськими ресурсами 98
Крячок С.Д. Зрівноваження полігонометричних мереж, побудованих зустрічними ходами 108
Нестеренко С.О. Алгоритм зшивання полігональних сіток 114
Соломаха В.В., Верьовко М.В., Соломаха І.В. Дослідження алгоритмів симетричних криптосистем 120
Kazymyr V., Karpachev I. Functional security in an android mobile architecture 127
Lytvynov V., Skakalina O. Methods of fuzzy logic for minimize the risks of IT-projects 134

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

Гусев О.О. Модель трирівневого квазі-імпедансного інвертора для малого сигналу 143
Михайленко В.В., Сапегін А.П., Остапчук Ю.Ю., Куник Ю.І. Дослідження електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з шестизонним регулюванням вихідної напруги при врахуванні втрат у ключових елементах 149
Михайленко В.В., Чуняк Ю.М., Остапчук Ю.Ю., Ніколаєва К.А. Аналіз електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з шістнадцятизонним регулюванням вихідної напруги 155
Приступа А.Л., Галюга А.В. Оцінювання діючих методик розрахунку технологічних витрат електричної енергії в розподільних електричних мережах..... 159
Ревко А.С., Грозов С.Ю. Стабілізатори струму на основі квазірезонансних перетворювачів .. 165
Кулик Б.І. Алгоритм управління засобами штучної компенсації реактивної потужності в діючих електричних системах..... 174

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Притульська Н.В., Антюшко Д.П., Кучинська А.М. Дослідження змін фізико-хімічних показників якості продуктів для ентерального харчування 180
Гуменюк О.Л., Ксенюк М.П., Журок І.М., Дорожинська М.В. Розроблення рецептури хліба з використанням лляного шроту 184
Купчик Е.Ю., Буяльская Н.П. Определение тяжелых металлов в чае методом инверсионной вольтамперометрии 190

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Квашук Ю.В., Сиза О.І., Савченко О.М. Рослинні екстракти у протикорозійному захисті систем водопостачання 196
Крупко В.А., Клінцов Л.М. Моніторинг стану земельних ресурсів для організації їх ефективного використання..... 201
Zatserkovnyi V. Use of geoinformation technologies for monitoring of hunting sector conditions ... 206

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ 215

CONTENT

SECTION I. MECHANICS

Baliunov O.O. Studies of the magnetic-elastic state of the cylindrical panel depending on the radius 9

Bolotov M., Ganeev T., Prybytko I. Research of mechanical properties and structural heterogeneity of brick 13

Pasov H., ***Venzheha V.*** Animation simulation of ball-screw gears that are used to create rectilinear translational motion 19

SECTION II. MECHANOCHEMISTRY

Bondar E., Kurmakova I., Makey A. Inhibition action of Aloe Vera and compositions on its basis under mild steel corrosion 26

Gorbenko P., Kovtun A., Rogoza A., Sholomiy Yu. The thermoluminescence of KCL and KCL:LICL crystals irradiated by X-rays 31

Komakha V., Sviderskyi V. Energy properties of modified carbonate fillers surface 34

SECTION III. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT

Voitenko V., Rudakov S. Cardiac activity determination with hemodialysis machine`s integrated pressure sensor 40

Mishchenko A. Information security questions in aspects of improving the objective efficiency of air transport 47

Nezhurin V., Abramov S. Improvement of furnaces of resource-saving technologies in the conditions of machinery production 51

Rudyk A., Venzheha V., Rudyk V. The productivity of highly effective longitudinal deep grinding of rotation surfaces by side of the tool and by butt end of the turned abrasive instrument 59

Derkach O. Calculation of transient vibrations of a vehicle with active piezoelectric patches subgected to random kinematic perturbations 64

SECTION IV. WELDING TECHNOLOGIES

Lavrova E. Development of a universal kinematic scheme of the device for submerged arc welding with strip electrode with controlled electrode metal transfer 71

SECTION V. INFORMATION COMPUTER TECHNOLOGIES

Kazymyr V., Kharchenko M. Managing web-portals and their properties 75

Litvinov V., Bogdan I. The automated system of verification of the object-oriented software models 83

Dvoiehlazova M. Research of process of functioning of the integrated information systems of the enterprise and the project 90

Zaritskyi O, Sudik V. Classification of modern information systems modeling and human resources management 98

Kriachok S. Adjustment of traverse networks, built by counter moves 108

Nesterenko S. The algorithm for polygonal networks of cross-linking 114

Solomakha V., Verovko M., Solomakha I. The study of algorithms for symmetric cryptosystems .. 120

Kazymyr V., Karpachev I. Functional security in an android mobile architecture 127

Lytvynov V., Skakalina O. Methods of fuzzy logic to minimize the risks of IT-projects 134

SECTION VI. POWER ENGINEERING

Husev O. The model of three-level quasi-z-source inverter for a small signal..... 143
Mykhailenko V., Sapehin A., Ostapchuk Yu., Kunyk Yu. Study of electromagnetic processes in semiconductor converter with six zoned regulation of the output voltage at account of the losses in key element..... 149
Mykhailenko V., Chuniak Yu.,Ostapchuk Yu., Nikolaieva K. Analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter with sixteen zone by regulation of the output voltage 155
Prystupa A., Haliuga A. Evaluation of existing methods of calculation of technological electric power losses in distributive electric networks..... 159
Revko A., Hrozov S. Current stabilizers on the basic of quasi-resonant converters..... 165
Kulyk B. Control algorithm of reactive power compensation artificial means in existing electric system..... 174

SECTION VII. TECHNOLOGIES OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

Prytulska N., Antiushko D., Kuchynska A. Studying of physico-chemical parameters changes of products for enteral nutrition..... 180
Humeniuk O., Kseniuk M., Zhurok I. Dorozhynska M. Development of bread recipes using flaxseed meal..... 184
Kupchik E., Buyalska N. Determination of heavy metals in tea by stripping voltammetry..... 190

SECTION VIII. TECHNOLOGIES OF LABOR PROTECTION AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

Kvashuk Yu., Syza O., Savchenko O. Plant extracts in anticorrosive protection of water supply systems..... 196
Krupko V., Klintsov L. Monitoring the status of land resources to use them effectively..... 201
Zatserkovnyi V. Use of geoinformation technologies for monitoring of hunting sector conditions..... 206

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS SCIENTIFIC ARTICLES..... 215

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

УДК 539.3

О.О. Балюнов, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТОПРУЖНОГО СТАНУ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПАНЕЛІ ЗАЛЕЖНО ВІД РАДІУСА

А.А. Балюнов, канд. физ.-мат. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОУПРУГОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАДИУСА

Oleksii Baliunov, PhD in Physical and Mathematical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

STUDIES OF THE MAGNETIC-ELASTIC STATE OF THE CYLINDRICAL PANEL DEPENDING ON THE RADIUS

У межах геометрично нелінійної теорії тонких оболонок досліджується зв'язана задача магнітопружності. Пов'язані поля в ізотропних середовищах зумовлені тензором натягів Максвелла і силою Лоренца. Оцінено кількісний і якісний вплив параметрів магнітного поля залежно від геометрії деформованого тіла. Результати дозволяють оптимізувати пружно-деформований стан панелі за заданими зовнішніми навантаженнями, що може знайти широке застосування на практиці, зокрема в задачах електромагнітного екранування.

Ключові слова: *теорія тонких оболонок, задача магнітопружності, електромагнітне поле.*

В рамках геометрически нелинейной теории тонких оболочек исследуется связанная задача магнитоупругости. Связанные поля в изотропных средах обусловлены тензором натяжений Максвелла и силой Лоренца. Оценено количественное и качественное влияние параметров магнитного поля в зависимости от геометрии деформированного тела. Результаты позволяют оптимизировать напряженно-деформированное состояние панели по заданным внешним нагрузкам, что может найти широкое применение на практике, в частности в задачах электромагнитного экранирования.

Ключевые слова: *теория тонких оболочек, задача магнитоупругости, электромагнитное поле.*

The related problem of magnetic elasticity is studied in the framework of geometrically nonlinear theory of thin shells. Linked fields in isotropic medium are specified by Maxwell tensor of tension and the Lorentz force. Quantitative and qualitative impact of these forces on the deformed body in the magnetic field is reviewed depending on the radius. The results allow to optimize the stress-strain state of the panel for given external loads, which can be widely applied in practice, particularly in problems of electromagnetic shielding.

Key words: *the theory of thin shells, the problem of magnetic elasticity, electromagnetic field.*

Постановка проблеми. Однією із галузей механіки сполучених полів є теорія магнітопружності. Якщо тіло, що знаходиться в сильному магнітному полі, привести в стан руху під дією зовнішнього навантаження, то разом з полем деформацій утворюється індуктивне магнітне поле. Обидва поля пов'язані, впливаючи одне на одне.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження ефектів взаємодії механічних полів деформування з електромагнітними полями детально висвітлюються в роботах [1; 7; 9]. Пов'язані задачі магітопружності тонких оболонок і пластин розглядаються в геометрично нелінійній постановці під дією нестаціонарних електромагнітних полів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. В роботах [2; 3] досліджувалась задача щодо оцінки дії на циліндричну панель різних факторів результуючого магнітного поля, таких як зовнішнє магнітне поле, власне магнітне поле, зумовлене стороннім струмом та їх комбінації в поєднанні з дією механічного навантаження. Явища й ефекти, які характерні для пружно-деформованого стану панелі залежно від геометричних параметрів, описані недостатньо.

Мета статті. Метою цієї роботи є визначення впливу зміни радіуса панелі на її пружно-деформований стан у зовнішньому магнітному полі, а також дослідження параметрів електромагнітного поля в таких умовах.

Виклад основного матеріалу. Розглядається пружно-деформований стан довгої циліндричної панелі сталої товщини h, радіуса R, правий контур нерухомо обпертий, лівий – шарнірний і вільний у нормальному напрямку (рис. 1).

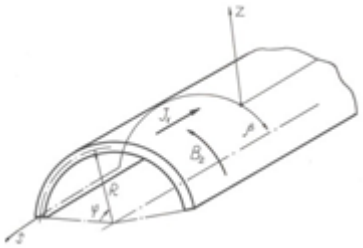


Рис. 1. Циліндрична панель у магнітному полі

На панель діє стале зовнішнє магнітне поле з індукцією $\vec{B}^{ex} = \{0; B_2^{ex}; 0\}$, вектор механічного навантаження $\vec{p} = \{0;0; p_3\}$, наближений розподіл магнітного поля на поверхні панелі $B_2^{+} = B_{20}^{+} + B_2^{ex} - (B_{30} - B_3)\vartheta_2$, де B_{20}^{+} – компоненти магнітної індукції початкового власного магнітного поля, зумовленого електричним струмом. Розв'язувальна система диференціальних рівнянь у нормальному вигляді Коші [8] має вигляд:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \upsilon}{\partial \beta} = \frac{1-\nu^2}{Eh} N_2 - \frac{w}{R} - \frac{\vartheta_2^2}{2}; && \frac{\partial Q_2}{\partial \beta} = \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{N_2}{R} - \rho f_3 - p_3;\\
&\frac{\partial w}{\partial \beta} = \frac{\upsilon}{R} - \vartheta_2; && \frac{\partial M_2}{\partial \beta} = N_2 \vartheta_2 + Q_2 + \frac{\rho h^3}{12} \frac{\partial^2 \vartheta_2}{\partial t^2};\\
&\frac{\partial \vartheta_2}{\partial \beta} = \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} M_2; && \frac{\partial B_3}{\partial \beta} = \sigma\mu\left(E_1 + \frac{\partial \upsilon}{\partial t} B_3 - \frac{1}{2}\frac{\partial w}{\partial t}\left(B_2^{+} + B_2^{-}\right)\right) + \mu J_1;\\
&\frac{\partial N_2}{\partial \beta} = \rho h \frac{\partial^2 \upsilon}{\partial t^2} - \frac{Q_2}{R} - \rho f_2; && \frac{\partial E_1}{\partial \beta} = \frac{\partial B_3}{\partial t},
\end{aligned} \tag{1}$$

де β – координата дуги, υ, w – переміщення та вигин, N_2, Q_2, M_2 – відповідно нормальне тангенціальне та поперечне зусилля в перерізі $\beta = const$, згинаючий момент, ϑ_2 – кут повороту нормалі до серединної поверхні в перерізі, нормальному до напрямної; E_1 – компонента вектора напруження електричного поля; ρ – густина матеріалу пластини; E, ν – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона; μ, σ, J_1 – магнітна проникність, електропровідність та компонента вектора густини стороннього струму, t – час. Вирази для компонент пондеромоторної сили Лоренца

$$\rho f_2 = \sigma h\left(B_2^{ex} + B_3\vartheta_2\right) - \sigma h \frac{\partial \upsilon}{\partial t}\left(B_3^2 + \left(B_2^{ex}\right)^2 + 2B_2^{ex} B_3 \vartheta_2 + B_3^2 \vartheta_2^2\right) - \sigma h E_1 B_3, \tag{2}$$

$$\rho f_3 = \sigma h \frac{\partial \upsilon}{\partial t}\left(B_2^{ex} + B_3\vartheta_2\right)B_3 - \sigma h \frac{\partial w}{\partial t}\left(\left(B_2^{ex}\right)^2 + 2B_2^{ex} B_3 \vartheta_2 + B_3^2 \vartheta_2^2\right) + \sigma h E_1\left(B_2^{ex} + B_3\vartheta_2\right).$$

Граничні умови запишемо у вигляді:

$$\upsilon = Q_2 = M_2 = 0,\ E_1 = \frac{\partial w}{\partial t}\left(B_2^{ex} + B_3\vartheta_2\right) - \frac{\partial \upsilon}{\partial t} B_3 \text{ при } \beta = \beta_0;$$

$$\upsilon = w = \vartheta_2 = E_1 = 0 \text{ при } \beta = \beta_N. \tag{3}$$

Методика розв'язання. Процес руху пластинки розіб'ємо на окремі малі за часом етапи і розглянемо деформування пластинки, послідовно розв'язуючи задачі на кожному проміжку часу з використанням стійкої скінченно-різницевої схеми Ньюмарка

$$\ddot{x}^{t+\Delta t} = x^t + \dot{x}^t \Delta t + \left[(0{,}5 - \gamma)\ddot{x}^t + \gamma \ddot{x}^{t+\Delta t}\right](\Delta t)^2,\ \dot{x}^{t+\Delta t} = \dot{x}^t + 0{,}5\left(\ddot{x}^t + \ddot{x}^{t+\Delta t}\right)\Delta t,$$

де Δt – крок інтегрування, γ – параметр схеми. Тоді система (1) запишеться у вигляді

$$\begin{aligned}
&\frac{d\upsilon}{d\beta} = \frac{1-\nu^2}{Eh} N_2 - \frac{w}{R} - \frac{\vartheta_2^2}{2}; && \frac{d\vartheta_2}{d\beta} = \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} M_2;\\
&\frac{dw}{d\beta} = \frac{\upsilon}{R} - \vartheta_2; && \frac{dN_2}{d\beta} = \rho h \ddot{\upsilon}^{t+\Delta t} - \frac{Q_2}{R} - \rho f_2;\\
&\frac{dQ_2}{d\beta} = \rho h \ddot{w}^{t+\Delta t} + \frac{N_2}{R} - \rho f_3 - p_3; && \frac{dM_2}{d\beta} = N_2\vartheta_2 + Q_2 + \frac{\rho h^3}{12}\ddot{\vartheta}_2^{t+\Delta t};\\
&\frac{dB_3}{d\beta} = \sigma\mu\left(E_1 + \dot{\upsilon}^{t+\Delta t} B_3 - \frac{1}{2}\dot{w}^{t+\Delta t}\left(B_2^{+} + B_2^{-}\right)\right) + \mu J_1; && \frac{dE_1}{d\beta} = \dot{B}_3^{t+\Delta t},
\end{aligned} \tag{4}$$

компоненти сили Лоренца

$$\rho f_2 = \sigma h\left(B_2^{ex} + B_3\vartheta_2\right) - \sigma h \dot{\upsilon}^{t+\Delta t}\left(B_3^2 + \left(B_2^{ex}\right)^2 + 2B_2^{ex} B_3 \vartheta_2 + B_3^2 \vartheta_2^2\right) - \sigma h E_1 B_3, \tag{5}$$

$$\rho f_3 = \sigma h \dot{\upsilon}^{t+\Delta t}\left(B_2^{ex} + B_3\vartheta_2\right)B_3 - \sigma h \dot{w}^{t+\Delta t}\left(\left(B_2^{ex}\right)^2 + 2B_2^{ex} B_3 \vartheta_2 + B_3^2 \vartheta_2^2\right) + \sigma h E_1\left(B_2^{ex} + B_3\vartheta_2\right).$$

Для розв'язку нелінійної граничної задачі (3)–(5) скористаємося методом лінеаризації [4; 6], побудувавши ітераційний процес, на кожному кроці якого розв'язується лінійна гранична задача за схемою

$$d\vec{y}_{k+1}/dx = \Gamma(x,\vec{y}_k)\vec{y}_{k+1} + \vec{f}(x,\vec{y}_k) - \Gamma(x,\vec{y}_k)\vec{y}_k, \text{ де } \Gamma(x,\vec{y}_k) = \left(\partial\vec{f}/\partial y_1, \partial\vec{f}/\partial y_2, ..., \partial\vec{f}/\partial y_n\right).$$

Лінійна гранична задача розв'язувалась з використанням стійкого чисельного метода дискретної ортогоналізації Годунова [5].

При розв'язанні задачі параметри панелі і величини зовнішніх навантажень мали значення: $h = 2\cdot 10^{-3}; \beta_0 = 0, \beta_N = 0,375; p_3 = 5; B_2^{ex} = -0,3; J_1 = 0$, крок інтегрування за часом у схемі Ньюмарка приймався $\Delta t = 5\cdot 10^{-4}$.

Розрахунки проводились для значень радіуса панелі $R = \{0,2; 0,25; 0,275; 0,3\}$ (на рис. 2–4 номера кривих 1–4 відповідно). Вказаним значенням R відповідають значення центрального кута дуги панелі $\varphi = \{107,3^\circ; 85,8^\circ; 78^\circ; 71,5^\circ\}$.

На рис. 2 представлено залежності вигину $w = w(\beta)$ у кінцевий момент часу.

Із рис. 2 випливає, що із збільшенням радіуса панелі при $\beta = const$ вигин зростає, тобто зі збільшенням φ циліндрична панель стає більш стійкою до дії зовнішніх навантажень. Цей результат не суперечить тому, що ми маємо в дійсності.

Розглянемо, як впливає зміна геометрії на параметри електромагнітного поля. На рис. 3 представлено залежності $\rho f_3 = \rho f_3(\beta)$ у кінцевий момент часу. Отримано, що зі збільшенням радіуса панелі зростають максимальні значення нормальної складової сили Лоренца.

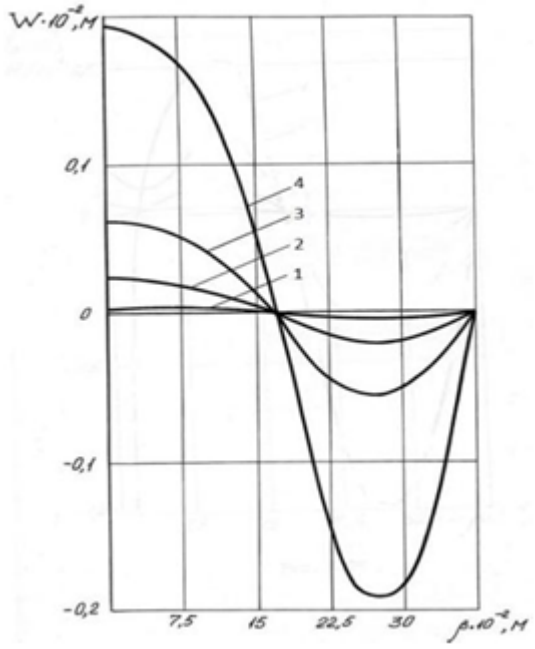


Рис. 2. Значення вигину

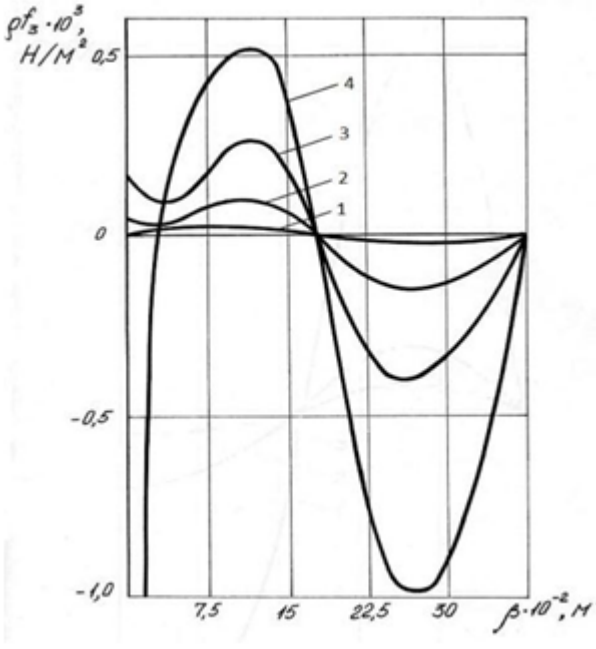


Рис. 3. Значення компоненти сили Лоренца

На рис. 4 представлено залежності $E_1 = E_1(\beta)$ у кінцевий момент часу. Можна зазначити, що поведінка тангенціальної складової вектора напруження електричного поля залежно від β якісно відтворює поведінку нормальної складової сили Лоренца.

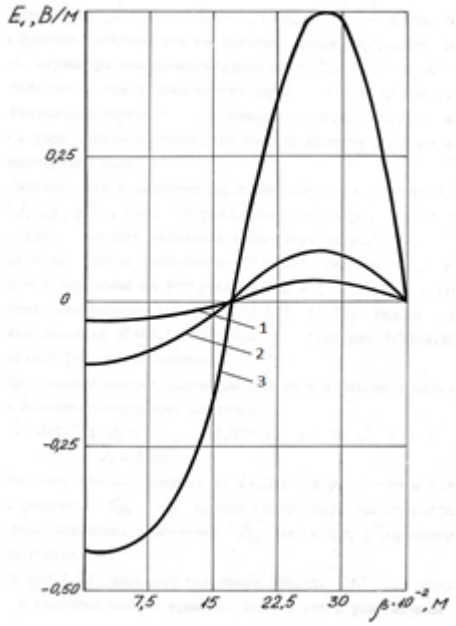


Рис. 4. Значення напруження електричного поля

Висновки і пропозиції. Таким чином, можна зробити висновок про те, що зміна радіуса панелі впливає не тільки на функції, що описують механічні поля деформацій, але також і на параметри електромагнітного поля. Це ще раз підтверджує велике значення зв'язаної задачі магнітопружності. Цей факт необхідно враховувати у сучасних технологіях під час створення конструкційних матеріалів, технічних пристроїв, де виявляються ефекти взаємодії механічних і електромагнітних полів.

Список використаних джерел

1. *Амбарцумян С. А.* Магнитоупругость тонких оболочек и пластин / С. А. Амбарцумян, Г. Е. Багдасарян, М. В. Белубекян. – М. : Наука, 1977. – 272 с.

2. *Балюнов А. А.* Напряженное состояние гибкой проводящей цилиндрической панели в магнитном поле / А. А. Балюнов // Тезисы докладов XV научной конференции молодых ученых Института механики АН УССР. – К., 1990. – 8 с.

3. *Балюнов О. О.* Оцінка впливу пондеромоторних сил на пружний стан гнучкої циліндричної панелі в магнітному полі / О. О. Балюнов // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. – Чернігів : ЧНПУ, 2013. – Вип. 113. – С. 67–70.

4. *Беллман Р.* Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи / Р. Беллман, Р. Калаба. – М. : Мир, 1968. – 184 с.

5. *Годунов С. К.* О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений / С. К. Годунов // Успехи математических наук. – 1964. – Т. 16, вып. 3 (99). – С. 171–174.

6. *Григоренко Я. М.* Решение нелинейных задач теории оболочек на ЭВМ / Я. М. Григоренко, А. П. Мукоед. – К. : Вища школа, 1984. – 286 с.

7. *Мольченко Л. В.* Магнитоупругость нелинейных токонесущих оболочек / Л. В. Мольченко // Магнитоупругость нелинейных токонесущих оболочек и газодинамика струйных течений. – К. : Вища школа, 1989. – С. 3–60.

8. *Мольченко Л. В.* Математические основы магнитоупругости теории оболочек / Л. В. Мольченко. – К., 1988. – 48 с. – (Препринт/АН УССР. Институт математики: 88.47).

9. *Улітко А. Ф.* Магнітопружність при динамічному навантаженні / А. Ф. Улітко, Л. В. Мольченко, В. Ф. Ковальчук. – К., 1994. – 155 с.

УДК 691.421

М.Г. Болотов, канд. техн. наук
Т.Р. Ганєєв, канд. техн. наук
І.О. Прибитько, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА СТРУКТУРНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ ЦЕГЛИ

М.Г. Болотов, канд. техн. наук
Т.Р. Ганеев, канд. техн. наук
И.А. Прибитько, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КИРПИЧА

Maksym Bolotov, PhD in Technical Sciences
Tymur Hanieiev, PhD in Technical Sciences
Iryna Prybytko, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURAL HETEROGENEITY OF BRICK

Проведено оцінювання сучасного стану методів руйнівного та неруйнівного контролю міцнісних та фізико-хімічних властивостей різного виду цегли, зроблено спробу наукового обґрунтування доцільності застосування ультразвукового імпульсного методу контролю для вивчення неоднорідності внутрішньої структури цегли.

Ключові слова: *міцність цегли, обстеження цегляних конструкцій, руйнівний та неруйнівний контроль.*

Проведена оценка современного состояния методов разрушительного и неразрушительного контроля прочностных и физико-химических свойств различного вида кирпича, сделана попытка научного обоснования целесообразности применения ультразвукового импульсного метода контроля для изучения неоднородности внутренней структуры кирпича.

Ключевые слова: *прочность кирпича, обследование кирпичных конструкций, разрушительный и неразрушительный контроль.*

The evaluation of the current state of destructive and non-destructive methods of control strength, physical and chemical properties of various types of bricks, attempt a scientific rationale for the use of ultrasonic pulse control method for the study of heterogeneity of the internal structure of brick.

Key words: *strength of brick, masonry structures inspection, destructive and non-destructive testing.*

Вступ. Жодне сучасне будівництво не обходиться без такого матеріалу, як цегла. Цегляна кладка широко застосовується при будівництві котеджів, зведенні багатоповерхових будівель та споруд як житлового, так і промислового призначення, при реставрації історичних пам'яток архітектури, вік яких може нараховувати декілька сотень років.

Для більшості людей вся цегла поділяється на білу та червону. З одного боку, так і є, але сучасний ринок пропонує досить широку номенклатуру цегли, що відрізняється одна від одної, передусім, способом виробництва, складом, властивостями, характером наповнення тощо.

На сьогодні найбільш поширеними видами цегли є силікатна, керамічна та вогнетривка (шамотна), кожна з яких має свої переваги та недоліки. Так, наприклад, силікатна цегла має досить високу міцність, шумоізоляцію, морозостійкість (у порівнянні з керамічною цеглою) та, що дуже важливо, екологічність, оскільки силікатна цегла виготовляється з екологічно чистої, натуральної сировини – вапняку та піску, але жаро- та водостійкі характеристики такої цегли залишають бажати кращого. Керамічна цегла також вважається екологічно чистою, основним продуктом її виготовлення є глина, що зазнала випалу. До переваг керамічної цегли слід віднести високу щільність (1950–2000 кг/м³ при ручному формуванні), що обумовлює всі інші її фізико-хімічні характеристики, такі як висока міцність та зносостійкість, звукоізоляція, низьке вологопоглинання тощо. Головними недоліками керамічної цегли вважають її високу вартість та

можливість появи висолів. Застосовують вогнетривку (шамотну) цеглу для внутрішнього облицьовування печей, камінів, димоходів котелень, димових труб, що обумовлено її високою жаро- та термостійкістю, низькою теплопровідністю тощо.

Сучасна цегла може бути повнотілою або порожнистою, причому кількість і форма порожнеч та їх розташування дуже різноманітні: перпендикулярні або паралельні (горизонтальні) ліжку, наскрізні або ненаскрізні [1].

Поверхню граней цегли нерідко виготовляють рифленою. За середньої щільності в сухому стані цеглу поділяють на три групи:

а) ефективні, що покращують теплотехнічні властивості стін і дозволяють зменшити їх товщину: цегла за середньою густиною не більше 1400 кг/м^3;

б) умовно ефективні, що поліпшують теплотехнічні властивості: цегла із середньою щільністю 1450–1600 кг/м^3;

в) звичайна керамічна цегла з середньою щільністю більше 1600 кг/м^3.

Маса цегли у висушеному стані не повинна бути більша 4,3 кг.

Розміри, фізико-механічні властивості та зовнішній вигляд цегли повинні задовольняти вимогам чинного стандарту. Розміри цегли залежно від її виду відповідно до *ГОСТ 530–2012* представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Розміри цегли залежно від її виду

Вид виробу	Номінальні розміри, мм		
	Довжина	Ширина	Товщина
Цегла одинарна	250	120	65
Цегла потовщена	250	120	88
Цегла модульних розмірів одинарна	288	138	63
Цегла модульних розмірів потовщена	288	138	88
Цегла потовщена, з горизонтальним розташуванням порожнин	250	120	88

Зовнішній вигляд сучасної цегли наведено на рис. 1.

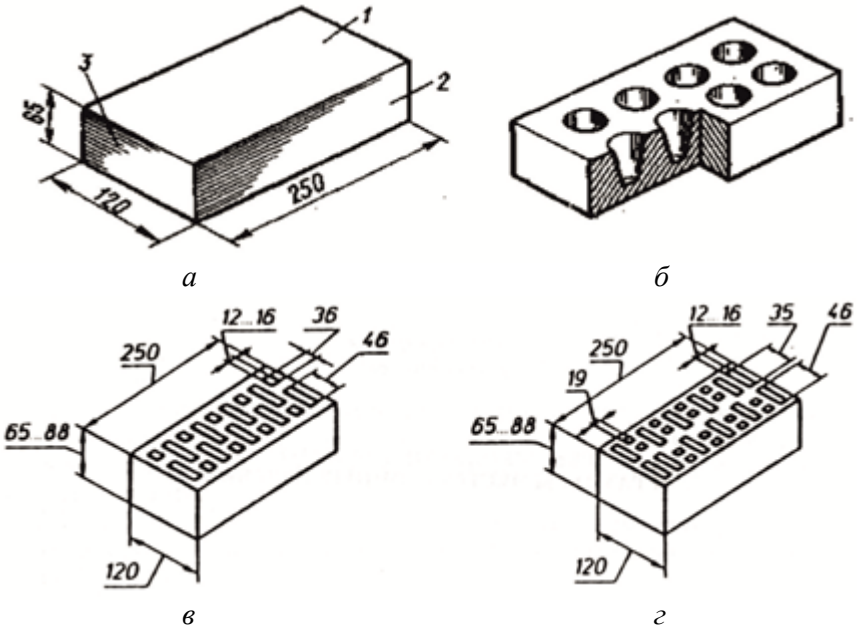
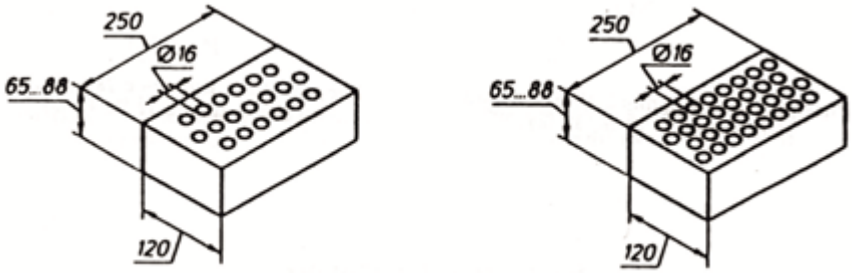


Рис. 1. Різновиди цегли: а – повнотіла пластичного формування; б – напівсухого пресування з технологічними порожнинами; в – одинарна і потовщена повнотіла з 19 технологічними порожнинами; г – одинарна і потовщена пустотіла з 32 круглими порожнинами; д – пустотіла з 18 квадратними порожнинами; е – пустотіла з 28 квадратними порожнинами; 1 – постіль; 2 – ложок; 3 – тичок



д *е*

Рис. 1. Закінчення (див. також с. 14)

Постановка проблеми. Довговічність будівель та споруд різного призначення визначається сукупністю факторів, таких як низька якість робіт при зведенні, упущення та порушення правил експлуатації, але не останнім з них є низька якість будівельних матеріалів [2]. Від якості цегли та цегляної кладки, що використовується в несучих конструкціях будівлі, залежатиме не тільки строк її нормальної експлуатації, але, що набагато дорожче, – людське життя.

У зв'язку з цим головним завданням для забезпечення тривалої експлуатації будівель та споруд різного призначення є необхідність обстеження та своєчасного визначення стану матеріалів, з яких вони зведені, їх фізико-хімічних та механічних характеристик.

На сьогодні під час обстеження цегляних та кам'яних будівель у процесі збору вихідних даних для повірочного розрахунку широкого застосування набули методи руйнівного та неруйнівного контролю. Сучасні неруйнівні методи випробовування дозволяють диференційовано в будь-яких зонах та кількості отримувати інформацію про особливості структури цегли та цегляної кладки в досліджуваних спорудах. Вони найбільш прийнятні, передусім, з фінансового погляду, оскільки не потребують відбору досліджуваних зразків для подальших досліджень, що не призводить до погіршення зовнішнього вигляду будівлі та її послаблення, оскільки зони вичинки, що залишаються при відборі зразків для натурних досліджень, є концентраторами напружень. Однак є думка окремих фахівців, що застосування неруйнівних методів контролю на основі ультразвуку неприпустимо, оскільки вони дозволяють лише побічно (приблизно) оцінити міцність цегли і здебільшого характеризуються великою похибкою [3].

Механічне випробовування відноситься до руйнівних методів, вони найбільш трудомісткі та коштовні, оскільки потребують відбору певної кількості цегли або її фрагментів (так званих кернів) з тіла кладки.

Основоположником механічного випробовування, присвячених вивченню властивостей цегли та цегляної кладки під навантаженням у нашій країні, вважають академіка Оніщика Льва Івановича. Результати досліджень, виконаних ще у першій половині минулого століття (1939 р.) під його керівництвом, лягли в основу норм з розрахунку кладок СНіП II-22-81 «Кам'яні та армокам'яні конструкції». До основного механічного випробовування відносяться методи визначення міцності під час стискання та вигині, визначення водопоглинання, водостійкості цегли та визначення її щільності.

Мета роботи. Метою цієї дослідницької роботи є оцінювання сучасного стану методів дослідження механічних та фізико-хімічних властивостей цегли, а також спроба наукового обґрунтування доцільності застосування ультразвукового імпульсного методу контролю для вивчення неоднорідності внутрішньої структури цегли.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень були відібрані партії цегли по 5 штук, вік яких коливається від 20 до 120 років (рис. 2). Слід зазначити, що всі відібрані зразки являють собою частину кладки житлових будівель, що в різний час знаходилися на території міста Чернігова, тобто працювали в однакових кліматичних умовах, але з різних причин були демонтовані.

Особливий інтерес викликає найстарша цегла з клеймом «А. Денисовъ» (рис. 3). Буква «Ъ» на кінці дає нам підставу вважати, що ця цегла була зроблена ще до орфографічної реформи 1917–1918 років.

Рис. 2. Зразки відібраної цегли з кожної партії

Рис. 3. Старовинна глиняна цегла з клеймом «А. Денисовъ»

Згідно з отриманою інформацією з деяких інтернет-джерел ця цегла була виготовлена на заводі в с. Пирогов Хотовської волості Київського повіту, яким володів унтер-офіцер запасу Андрій Павлович Денисов. Заснований у 1896 році завод значився у списках до 1913 року. Оскільки нам відомо, що будинок, побудований з цієї цегли, знаходився на території колишньої садиби поміщика Григорія Глібова, заснованої в кінці XIX століття, нинішнього інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва. Це дає нам підставу вважати, що вік цієї цегли приблизно 120 років.

Для якісного визначення працездатності різних систем, виробів та конструкцій, обов'язковим є проведення як руйнівного, так і неруйнівного контролю якості із застосуванням різного виду обладнання, але первинним методом контролю залишається візуально-вимірювальний контроль (ВВК), оскільки він вважається найдоступнішим і оперативним (і тому є обов'язковим) попереднім методом обстеження.

До показників зовнішнього вигляду цегли відносяться:

1. Граничні відхилення від номінальних розмірів.

2. Дефекти зовнішнього вигляду (відколи кутів, відколи і притуплення ребер, наскрізні тріщини на ложкових і точкових гранях, що виходять на постіль).

3. Відхилення від перпендикулярності граней.

4. Вапнякові включення «дутики», що викликають після пропарювання виробів руйнування поверхонь і відколи.

5. Товщина зовнішніх стінок для порожнистого виробу.

6. Розміри наскрізних порожнин.

Практично вся досліджувана цегла має стандартні розміри за винятком старовинної цегли з клеймом, розміри якої становлять 250×120×70 мм, що на п'ять міліметрів товще за сучасну одинарну цеглу. Вся цегла, без винятку, має явні поверхневі дефекти, що обумовлено тривалим терміном їх експлуатації. Так, на деяких зразках виявлено незначні відколи та притупленості бокових граней. Більшості зразків силікатної цегли притаманні одиничні щілинні порожнини діаметром від 3 до 8 мм. Протяжні просторові тріщини характерні для червоної керамічної цегли. Довжина таких тріщин у межах одного зразка, що досліджується, коливається від декількох міліметрів до декількох сантиметрів. Наскрізних порожнин у жодному із зразків не виявлено.

Неруйнівне випробовування цегли здійснювалося із застосуванням ультразвукового імпульсного методу. Нині УЗ метод широко використовується при дослідженні зварних швів на предмет різних дефектів зварювання, визначення неоднорідності структури і фізико-механічних властивостей залізобетону та інших будівельних матеріалів.

Для визначення неоднорідності структури відібраної цегли застосовувався ультразвуковий імпульсний дефектоскоп ДУК-5В, що дозволяє виявляти дефекти і визначати їх координати в металевих і неметалевих заготовках і виробах нескладних форм, а також контролювати якість клейових з'єднань пластмас на металевих і неметалевих основах.

У ході випробувань було встановлено, що для всіх досліджуваних зразків характерна анізотропія швидкості розповсюдження механічних хвиль. Це вказує на складність структури цегли, обумовленої наявністю мікротріщин, пор та інших індивідуальних особливостей цегли. Виявлено, що структура старовинної цегли характеризується меншою щільністю по центру та більш щільною структурою по його краях.

Для подальшого проведення механічного випробовування на міцність усі досліджувані зразки за допомогою алмазного диска були розпиляні на 8 окремих зразків розмірами 60×60×60 мм, що максимально наближено до ГОСТ 8462–85. Розташування зразків один щодо іншого не порушувалося (рис. 4).

Рис. 4. Розташування фрагментів зразків перед механічним випробовуванням

Після розпилювання цегли отримані зразки кубиків піддавалися повторному візуальному контролю та УЗ випробуванням задля виключення можливої появи викривлень у структурі кубічних зразків. Так, зовнішнім оглядом були виявлені наявні внутрішні дефекти деяких окремих зразків старовинної цегли з відтиском, зокрема повздовжні ненаскрізні тріщини (у напрямку від тичка до тичка) та поперечні ненаскрізні тріщини (у напрямку від постелі до постелі), а також окремі порожнини та вибоїни (рис. 5). Поява останніх вірогідно пов'язана із механічним втручанням. У деяких зразках керамічної цегли були виявлені одиничні поперечні ненаскрізні тріщини (у напрямку від постелі до постелі) та місцями – посічення. Також встановлено, що цегла була відпалена на глибину до 10 мм, про це свідчить яскравий червоний ободок по всьому поперечному перерізі зразка. Суттєвих внутрішніх дефектів зразків силікатної цегли виявлено не було.

Повторні ультразвукові випробування не показали суттєвих змін у швидкості проходження механічних коливань після різання зразків.

Рис. 5. Дефекти внутрішньої структури старовинної цегли

Рис. 6. Механічне випробовування цегляних зразків

Міцнісні характеристики досліджуваних зразків визначали за допомогою випробування кубиків на стиск укладених на постіль та ложок за допомогою пресового обладнання (рис. 6). Було проведено три серії випробувань по п'ять цеглин у кожній, тобто загалом 40 кубиків.

Аналіз експериментальних даних механічного випробовування кубічних зразків на стиск показав наявність зв'язку між напрямком відбору зразків та їх міцнісними показниками. Так, встановлено, що міцність цегляних зразків, укладених на постіль, приблизно на 30 % більша за ті, що були укладені на ложок. На нашу думку, це пов'язано з тим, що цегла, яка у кладці знаходилася на постільній грані, з часом зазнає більшого ущільнюючого впливу, ніж та, що була укладена на ложок. Таким чином, напрямок навантаження у ході механічного випробовування, зразків укладених на ложок, знаходився в ортогональному напрямку, тобто перпендикулярно до цієї ущільнюючої дії. У зв'язку з цим міцнісні показники ложкових граней цеглини дещо нижчі.

Визначити міцнісні властивості керамічної цегли нам не вдалося внаслідок недостатньої потужності пресового обладнання. Поява першої тріщини в усіх зразках керамічної цегли спостерігалася при навантаженнях, коли інші види цегли повністю руйнувалися. Середні значення результатів експерименту занесені до табл. 2.

Таблиця 2

Результати механічного випробовування

Досліджувана цегла	Поява першої тріщини, $P_{ср}$, кН		Повне руйнування, $P_{ср}$, кН		$P_{ср\ ложок}/P_{ср\ постіль}$ Перша тріщина	$P_{ср\ ложок}/P_{ср\ постіль}$ Повне руйнування
	постіль	ложок	постіль	ложок		
«А. Денисовъ»	25	18	34	23	0,75	0,67
Силікатна	18	14	29	20	0,77	0,68
Керамічна	38	36	–	–	0,94	–

Також результати механічного випробовування кубічних зразків цілком підтвердили наявність структурної неоднорідності цегли, встановленої УЗ методом. Значення граничних стискаючих зусиль у різних досліджуваних зразках (кубиках) однієї цеглини коливаються у межах 15–25 %.

Висновки. Таким чином, встановлено зв'язок між міцністю досліджуваних цегляних зразків та напрямком їх розташування відносно прикладеного навантаження з коефіцієнтом, близьким до 0,7. З'ясовано, що міцність цегли, укладеної на постільну грань, приблизно на 30 % вища за ложкову. Також показано принципову можливість використання імпульсного ультразвукового методу для контролю структурної неоднорідності цегли.

Список використаних джерел

1. *Онищик Л. И.* Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий / Л. И. Онищик. – Л. : Гос. издат. строит. лит., 1939. – 398 с.

2. *Болотов М. Г.* Аналітичний огляд основних причин та наслідки аварій будівель та споруд, що сталися на території України за останні п'ять років / М. Г. Болотов // Вісник Чернігівського національного технологічного університету. – 2013. – № 4. – С. 197–204.

3. *Житушкин В. Г.* Определение прочности кладки кирпича в натурных условиях / В. Г. Житушкин, В. Н. Кучеров // Жилищное строительство. – 2001. – № 9. – С. 11–12.

УДК 621.923.42

Г.В. Пасов, канд. техн. наук
В.І. Венжега, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНІМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КУЛЬКОВО-ГВИНТОВИХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРЯМОЛІНІЙНОГО ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ

Г.В. Пасов, канд. техн. наук
В.И. Венжега, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АНИМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШАРИКОВИНТОВЫХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Hennadii Pasov, PhD in Technical Sciences
Volodymyr Venzheha, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

ANIMATION SIMULATION OF BALL-SCREW GEARS THAT ARE USED TO CREATE RECTILINEAR TRANSLATIONAL MOTION

Розглянуто анімаційне моделювання механізмів для створення прямолінійного поступального руху в різноманітних верстатах та промислових роботах за допомогою кульково-гвинтових передач. Описано складові цих механізмів та перспективи інтерактивного ними керування в подальшому.

Ключові слова: *анімація, моделювання, гвинт, прямолінійний рух, кульково-гвинтова передача.*

Рассмотрено анимационное моделирование механизмов для создания прямолинейного поступательного движения в разнообразных станках и промышленных роботах с помощью шариковинтовых передач. Описаны составляющие этих механизмов и перспективы интерактивного управления ими в дальнейшем.

Ключевые слова*: анимация, моделирование, винт, прямолинейное движение, шариковинтовая передача.*

Considered an animated simulation of mechanisms to create a rectilinear translational motion in a variety of machine tools and industrial robots using balls crews. Describes the components of these mechanisms and prospects for interactive management in the future.

***Key words**: animation, modeling, screw, linear motion, ball screw.*

Постановка проблеми. Освіта є основою будь-якого суспільства. В наш час у процесі вивчення різноманітних дисциплін використовується багато джерел різноманітної інформації: підручники, посібники, журнали, збірники, Інтернет. У сучасних умовах широкі можливості відкриває використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) в навчальному процесі, особливо персональних комп'ютерів (ПК) і високоінтелектуальних програмних продуктів [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційно під час засвоєння будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому як методичний наочний матеріал використовуються, здебільшого, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем елементів [2–4]. Саме використання ЕОМ та відповідних програмних продуктів і дозволяє вдосконалити навчальний процес (та освіту загалом), надаючи йому інтенсивності та інтерактивного змісту [5–12].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Необхідно для вдосконалення навчання студентів запропонувати анімаційну модель прямолінійного поступального руху за допомогою кульково-гвинтових передач.

Мета статті. Метою роботи є пропозиція анімаційного моделювання прямолінійного поступального руху за допомогою різноманітних варіантів кульково-гвинтових передач.

Виклад основного матеріалу. В Чернігівському національному технологічному університеті (ЧНТУ) на кафедрі "Інтегровані технології машинобудування і автомобілі" для вивчення навчальних дисциплін "Підйомно-транспортне обладнання і роботи", "Обладнання та транспорт механоскладальних цехів", "Промислові роботи", "Металообробне обладнання", "Автоматичні оброблюючі системи" розроблено навчальний продукт "Анімація роботи механізмів прямолінійного поступального руху". Анімація розроблена для лабораторій "Промислові роботи" з реальними роботами: МП-11, М10П, М20П, РМ-01 та "Металообробне обладнання".

Під час розроблення анімаційного моделювання кульково-гвинтової передачі для створення прямолінійного поступального руху були використані сучасні програмні продукти: "3Ds Max" та "КОМПАС-3D" [13–14].

Найбільш розповсюдженим механізмом для перетворення обертального руху в поступальний є гвинтові (кульково-гвинтові) передачі. При цьому можуть бути реалізовані різні варіанти перетворення руху.

Гвинт обертається, а гайка разом з робочим органом рухається поступально (рис. 1). Представлена схема відтворюється для переміщення поздовжніх полозків супорта токарного верстата при нарізуванні різі.

Гвинт нерухомий, а гайка обертається і разом з робочим органом здійснює поступальний рух (рис. 2). Така схема реалізується у столі поздовжньо-фрезерувального верстата моделі А662.

Гайка нерухома, гвинт обертається й одночасно разом з робочим органом робить поступальний рух (рис. 3). Схема відтворена у поздовжній подачі столу в консольно-фрезерувальних верстатах.

Гайка обертається, а гвинт разом з робочим органом має поступальний рух (рис. 4). Представлена схема реалізована у приводі супорта стругального верстата.

Розроблена анімаційна модель дозволяє наочно продемонструвати роботу всіх наведених механізмів. Продукт "Анімація роботи механізмів прямолінійного поступального руху" розроблений як черговий крок у забезпеченні навчання за допомогою сучасних про-

грамних продуктів. У подальшому його можна розширювати, корегувати та вдосконалювати (наприклад, інтерактивне керування процесами анімації того чи іншого вузла).

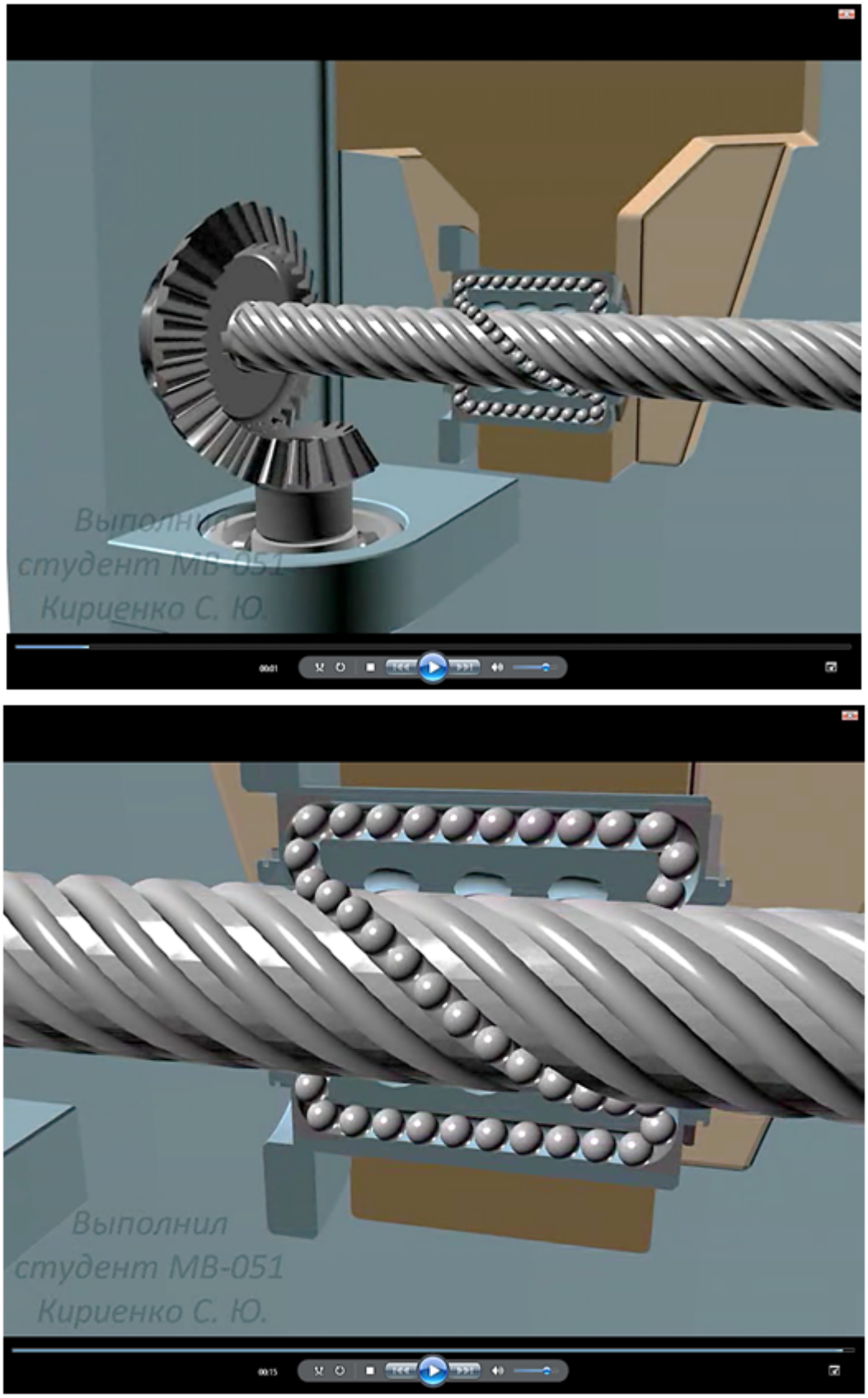


Рис. 1. Гвинт обертається, гайка переміщується поступально

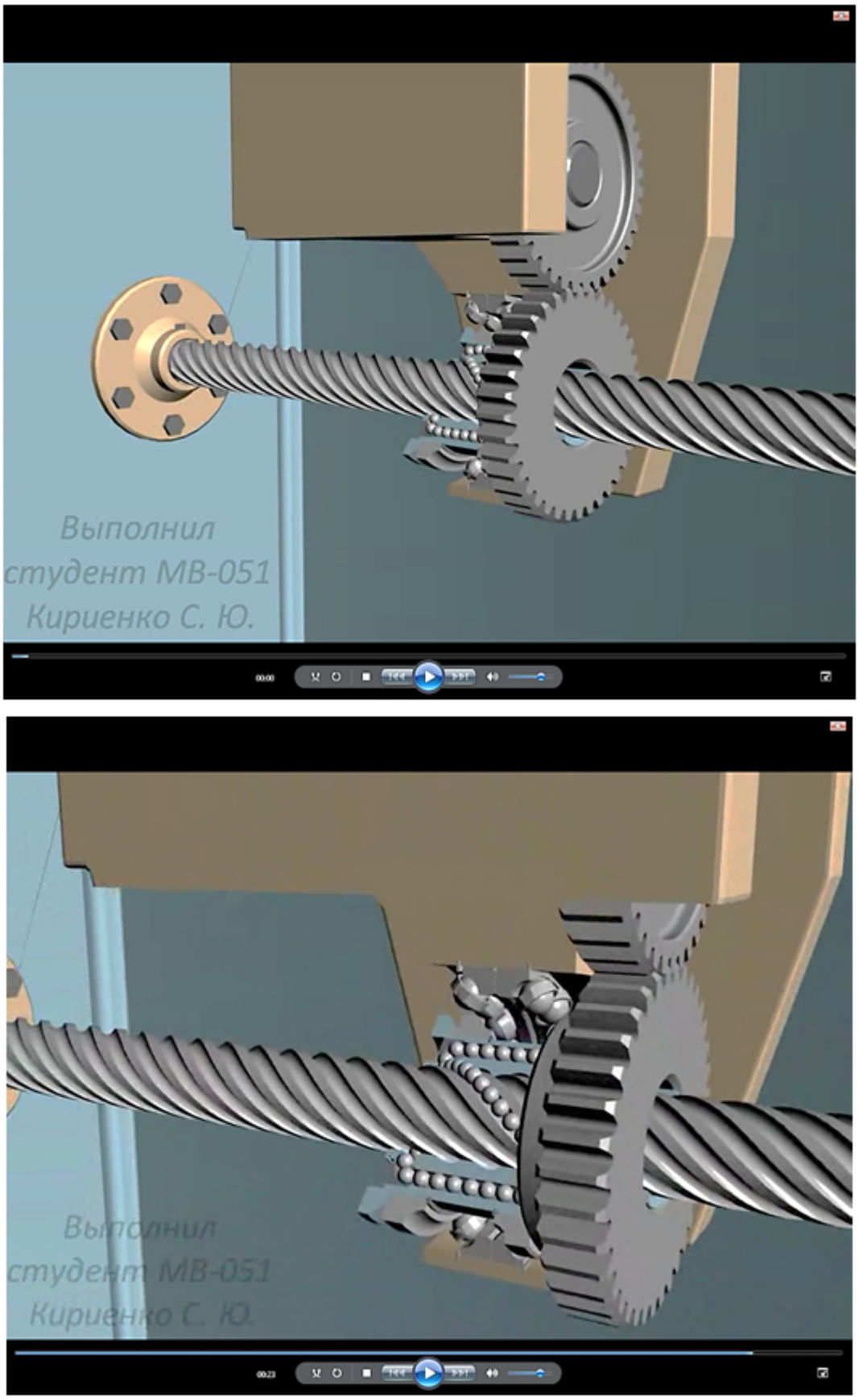


Рис. 2. Гвинт нерухомий, гайка обертається і переміщується поступально

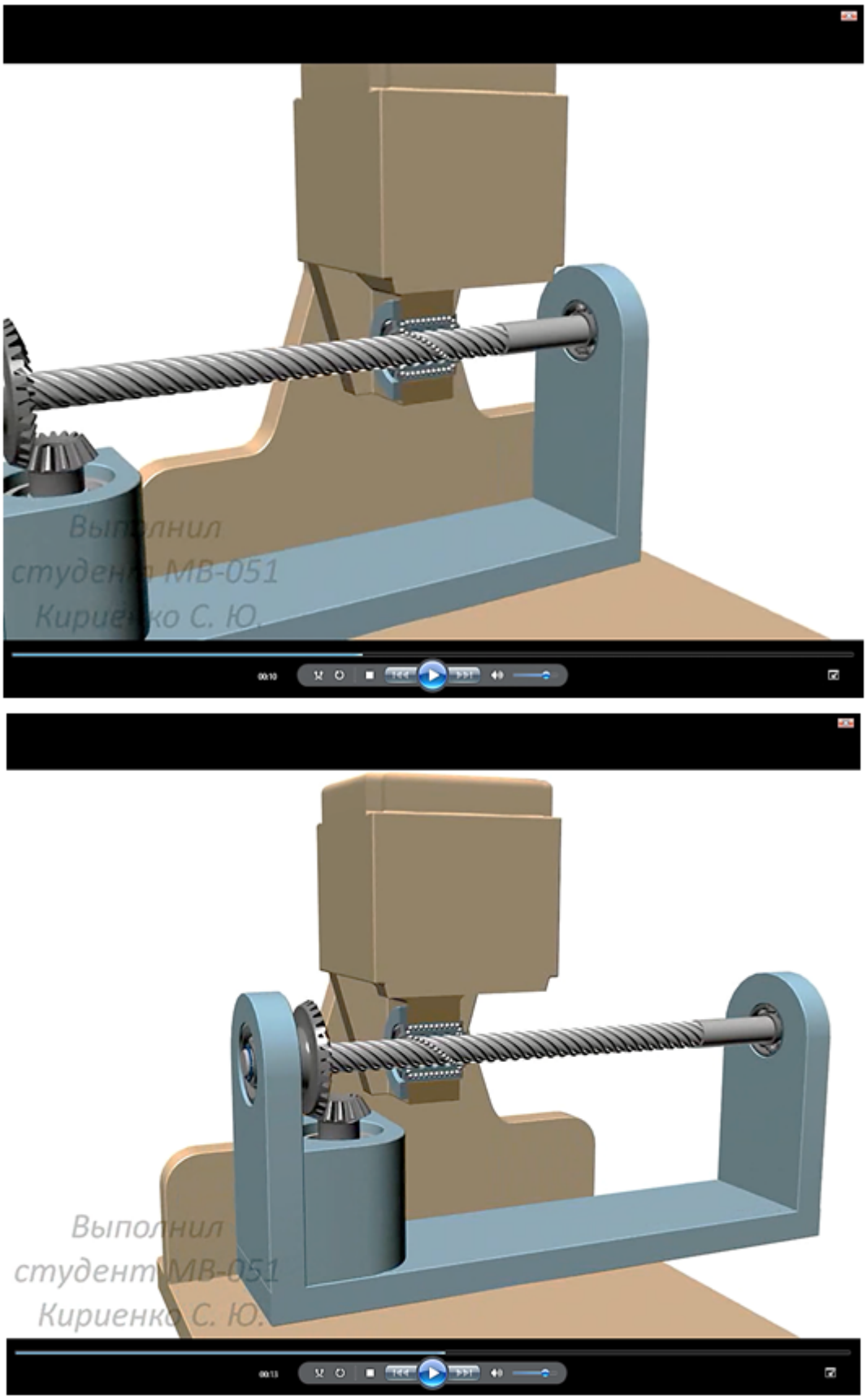


Рис. 3. Гвинт обертається і переміщується поступально, гайка нерухома

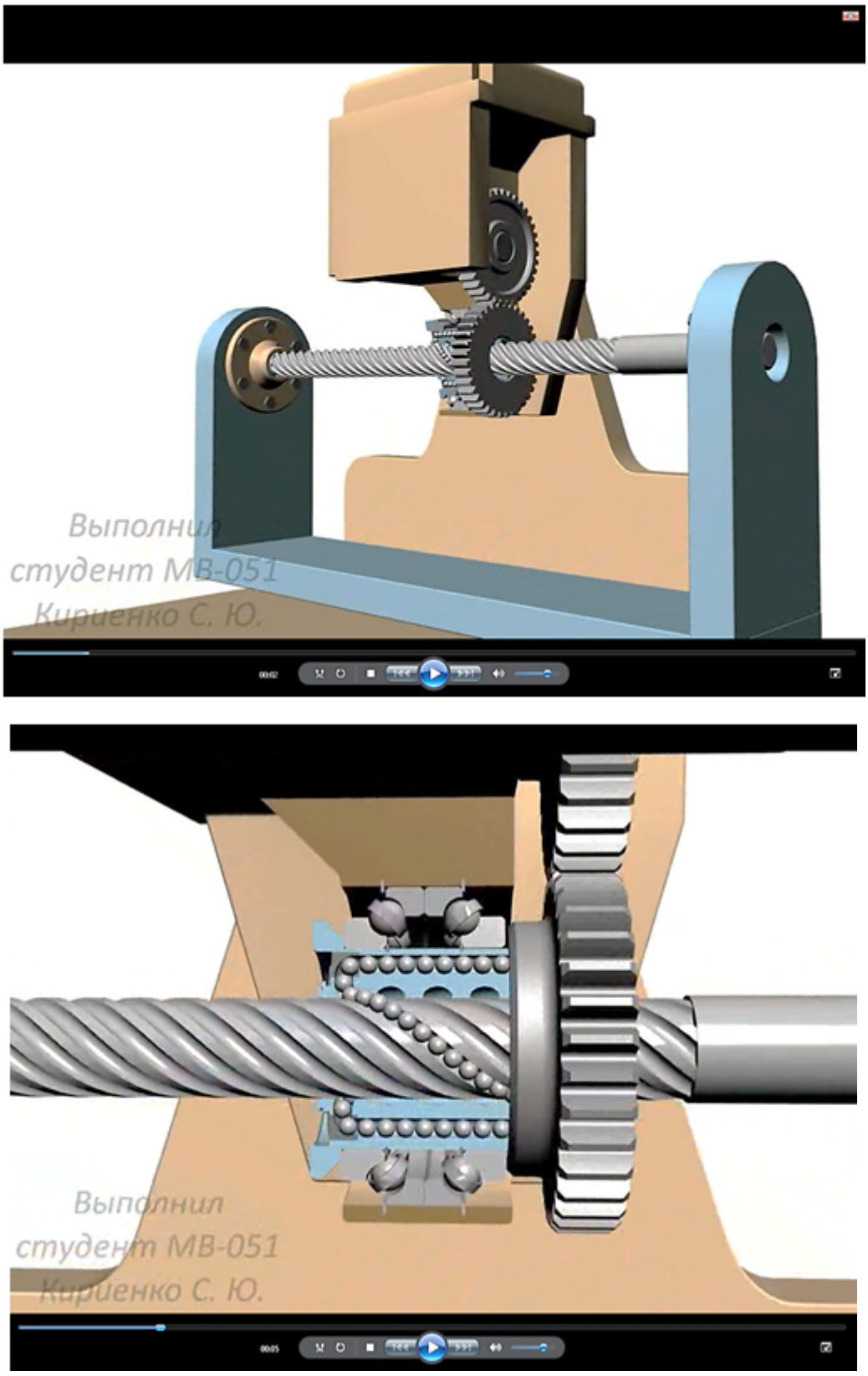


Рис. 4. Гвинт переміщується поступально, гайка обертається не переміщуючись

Розроблений програмний проект може ефективно використовуватись під час вивчення таких дисциплін: “Підйомно-транспортне обладнання і роботи”, “Промислові роботи”, “Металообробне обладнання”, “Автоматичні оброблюючі системи”, “Проектування механічних цехів”, “Обладнання та транспорт механоскладальних цехів”, “Проектування та

оснащення гаражного господарства". На основі цих розробок можливо створювати аналогічні програмні анімаційні продукти й для інших дисциплін.

Висновки і пропозиції. Розроблений програмний проект може ефективно використовуватись під час вивчення таких дисциплін: "Промислові роботи", "Металообробне обладнання", "Автоматичні оброблюючі системи", "Проектування механічних цехів", "Обладнання та транспорт механоскладальних цехів", "Підйомно-транспортне обладнання і роботи", "Проектування та оснащення гаражного господарства". На основі цих розробок можливо створювати аналогічні програмні анімаційні продукти й для інших дисциплін: "Теорія різання" – рух інструменту й утворювання стружки, "Гідравліка" – робота гідравлічних систем верстатів та багато інших дисциплін.

Список використаних джерел

1. *Нові* технології навчання : наук.-метод. зб. – К. : Наук.-метод. центр вищої освіти, 2010. – Вип. 48. – 203 с.

2. *Промислові* роботи. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: "Підйомно-транспортне обладнання та роботи", "Промислові роботи", "Обладнання та транспорт механоскладальних цехів" для студентів напрямів підготовки: 6.070106 "Автомобільний транспорт" та 6.050502 "Інженерна механіка". Частина 1 / уклад. : Г. В. Пасов. – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 58 с.

3. *Промислові* роботи. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисциплін: "Підйомно-транспортне обладнання та роботи", "Промислові роботи", "Обладнання та транспорт механоскладальних цехів" для студентів напрямів підготовки: 6.070106 "Автомобільний транспорт" та 6.050502 "Інженерна механіка". Частина 2 / уклад. : Г. В. Пасов. – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 100 с.

4. *Промислові* роботи. Альбом до методичних вказівок з виконання лабораторних робіт з дисциплін: "Підйомно-транспортне обладнання та роботи", "Промислові роботи", "Обладнання та транспорт механоскладальних цехів" для студентів напрямів підготовки: 6.070106 "Автомобільний транспорт" та 6.050502 "Інженерна механіка" / уклад. : Г. В. Пасов. – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 54 с.

5. *Використання* ЕОМ в навчальному процесі / Г. В. Пасов, К. В. Дьяконов, Р. С. Кит, О. В. Хажанець, С. А. Шурубенко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2007. – № 30. – С. 45–54.

6. *Пасов Г. В.* Анімаційне моделювання роботи окремих вузлів промислового робота / Г. В. Пасов, О. В. Ратозей, С. В. Лоскутов // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2008. – № 36. – С. 82–87.

7. *Пасов Г. В.* Керування анімаційною 3D-моделлю промислового робота М10П / Г. В. Пасов, В. М. Чуприна, С. Ю. Кирієнко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2009. – № 40. – С. 156–164.

8. *Анімаційне* моделювання гнучкої виробничої системи / С. Ю. Кирієнко, А. В. Полуян, Г. В. Пасов, В. М. Чуприна // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2010. – № 45. – С. 78–86.

9. *Пасов Г. В.* Анімаційне моделювання лабораторії промислових роботів / Г. В. Пасов, Є. В. Загуменник // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2012. – № 2 (57). – С. 148–154.

10. *Пасов Г. В.* Використання анімаційного моделювання лабораторії промислових роботів в навчальному процесі / Г. В. Пасов // Матеріали другої Міжнародної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – С. 31–32.

11. *Пасов Г. В.* Використання анімаційного моделювання механізмів для створення прямолінійного поступального руху / Г. В. Пасов // Матеріали третьої Міжнародної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – С. 60–61.

12. *Пасов Г. В.* Використання анімаційного моделювання механізмів для створення прямолінійного поступального руху за допомогою кулачкових механізмів / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Матеріали четвертої Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧНТУ, 2014. – С. 81–84.

13. *Маров М. Н.* Энциклопедия 3ds max 8 (+CD) / М. Н. Маров. – СПб. : Питер, 2010. – 1388 с.

14. *Кудрявцев Е. М.* КОМПАС-3D V11. Максимально полное руководство : в 3 томах / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 1244 с.

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 620.197.3

Е.С. Бондарь, канд. техн. наук
И.Н. Курмакова, канд. хим. наук
А.П. Макей, ассистент
Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, г. Чернигов, Украина

ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СОКА ALOE VERA И КОМПОЗИЦИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ ПРИ КОРРОЗИИ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

О.С. Бондар, канд. техн. наук
І.М. Курмакова, канд. хім. наук
О.П. Макей, асистент
Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів, Україна

ІНГІБУВАЛЬНА ДІЯ СОКУ ALOE VERA ТА КОМПОЗИЦІЙ НА ЙОГО ОСНОВІ ПРИ КОРОЗІЇ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Elena Bondar, PhD in Technical Sciences
Irina Kurmakova, PhD in Chemical Sciences
Aleksandr Makey, assistant
Chernigov National Pedagogical University named after T.G. Shevchenko, Chernigov, Ukraine

INHIBITION ACTION OF ALOE VERA AND COMPOSITIONS ON ITS BASIS UNDER MILD STEEL CORROSION

Исследовано ингибирующее действие сока Aloe Vera при коррозии малоуглеродистой стали в нейтральной (10 % NaCl) и кислых (2М и 5М CH_3COOH, 0,1 М HCl,1М H_2SO_4) средах. Установлено, что в 5М CH_3COOH защитный эффект стали Ст3пс составляет до 89 %, а в 1М серной кислоте – до 72 % при концентрации сока Aloe Vera 20 г/л. Предложено синергетическую композицию сока Aloe Vera и производного оксадиазола – 5-метил-[1,3,4]оксадиазол-2-иламина, которая обеспечивает до 85 % защиты в 1М H_2SO_4. Установлено, что синергетическое действие компонентов композиции обусловлено их влиянием на поверхностную активность ингибитора.

***Ключевые слова**: сок Aloe Vera, ингибитор, коррозия, синергетическая композиция.*

Досліджено інгібувальну дію соку Aloe Vera при корозії маловуглецевої сталі в нейтральному (10 % NaCl) та кислих (2М і 5М CH_3COOH, 0,1 М HCl,1М H_2SO_4) середовищах. Встановлено, що у 5М CH_3COOH кислоті ступінь захисту сталі Ст3пс становить до 89%, а у 1М сульфатній кислоті ступінь захисту сталі Ст3пс становить до 72 % при концентрації соку Aloe Vera 20 г/л. Запропоновано синергетичні композицію соку Aloe Vera та похідного оксадіазолу – 5-метил-[1,3,4]оксадіазол-2-іламіну, яка забезпечує захист до 85 %. Встановлено, що синергетична дія компонентів композиції зумовлена їх впливом на поверхневу активність інгібітора.

***Ключові слова:** сік Aloe Vera, інгібітор, корозія, синергетична композиція.*

Investigated inhibition action of juice Aloe Vera of mild steel corrosion in neutral (10 % NaCl) and acid (2M and 5M CH_3COOH, 0,1 M HCl, 1M H_2SO_4) medium. Established that in 5M CH_3COOH the protective effect of steel St3ps makes to 89 % and in 1M sulfuric acid up to 72 % at concentration of juice Aloe Vera 20 g/l. The synergetic composition of juice Aloe Vera and 5-methyl-[1,3,4] oxadiazol-2-ylamine which provides to 85 % of protection. Established that synergetic action of components in composition is caused by their influence on superficial activity of inhibitor.

***Key words**: Aloe Vera juice, inhibitor, corrosion, synergetic composition.*

Постановка проблемы. Металлы и их сплавы являются наиболее распространенными конструкционными материалами. Одна из проблем их использования – коррозионное разрушение как результат взаимодействия со средой, в которой они эксплуатируются. Ежегодные потери от коррозии оцениваются в США в 5,5 млрд дол, в Японии – в 9,2 млрд дол. Важность решения этой проблемы определяется такими факторами, как повышение надежности металлоконструкций и уменьшение потерь металла, которые для стали оцениваются от 10 до 20 % ее годового производства [1]. Надежным и эффективным средством защиты металлов от коррозии является применение ингибиторов. В связи с повышением экологических требований к противокоррозионной защите, актуальным является разработка малотоксичных синергетических композиций на основе растительного сырья. Перспективность использования растительного сырья обусловлена тем, что ежегодно в мире перерабатываются тысячи тонн различных культур и образуется огромное количество дешевых отходов.

Анализ последних исследований и публикаций. Ингибиторы на основе растительного сырья (косточковые отходы плодово-ягодных культур, семена растений, горчичное масло, экстракты) предложены в работах Е.Э. Чигиринец [2], О.И. Сизой [3], E.E. Oguzie [4], P.B. Raja [5].

Эффективность в противокоррозионной защите установлена для экстрактов таких растений как *Rauvolfia serpentina* [5], *Flacourti jangomas* [6], *Piper nigrum* [7], *Nyctanthes arbortristis* [8], *Eclipta alba* [9], *Azadirachta indica* [4], *Sida rhombifolia L* [10], *Medicago Sative* [11], *Cyamopsis tetragonaloba* [12], листья хны [14] и др.

Анализ публикаций показывает интерес к исследованию противокоррозионных свойств *Aloe Vera* [14–17]. Показано, что водный экстракт листьев *Aloe Vera* обеспечивает до 88 % защиты при коррозии алюминия в 0,5М HCl при 30 °С [14], до 80 % – при коррозии цинка в 2 М HCl [15] и до 71 % – при коррозии меди в 2 М HCl [16]. Исследования экстракта *Aloe Vera* на углеродистой стали проведено авторами [17] в морской воде, и выявлено высокий защитный эффект – до 98 % при использовании 4 мл экстракта на 100 мл коррозионной среды. При этом данных исследования ингибиторов на основе *Aloe Vera* для защиты малоуглеродистой стали в кислых средах в доступных нам источниках не найдено.

Формулирование целей статьи. Цель работы – оценить ингибирующее действие сока *Aloe Vera* при коррозии стали Ст3пс в кислых и нейтральной средах и разработать синергетическую композицию на его основе.

Изложение основного материала исследований. Сок *Aloe Vera* получали механическим выдавливанием из листьев растения. Согласно [18] в его состав входят органические кислоты (яблочная, лимонная, изолимонная, фумаровая, малоновая, щавелевая) – 4,92 мг/мл; аминокислоты (аспарагин, аланин, глутамин, лейцин, орнитин, фенилаланин, пролин, серин, триптофан, валин) – 0,36 мг/мл; углеводы (глюкоза и сахароза) – 11,62 мг/мл; пироновые соединения – 1,05 мг/мл. Содержание сухих веществ составляет 2,4 %.

В качестве потенциальных синергистов исследовали 5-замещенные-2-амино-1,3,4-оксадиазолы, полученные при взаимодействии соответствующего гидразида карбоновой кислоты и бромциана [19]. Структура полученных соединений подтверждена методом ПМР-спектрометрии (DPX-400, растворитель ДМСО-d_6, внутренний стандарт ТМС).

Эффективные заряды на атомах молекул производных оксадиазола и их энергетические характеристики рассчитывали с помощью компьютерной программы Hyperchem 7.0. (Hypercube, Inc.) по методу РМ 3.

Эффективность ингибиторов оценивали гравиметрическим методом [20] с использованием пластин малоуглеродистой стали Ст3пс (площадь поверхности 12 см^2). Рассчитывали скорость коррозии без и в присутствии ингибитора ($K_m = \Delta m/(S\cdot\tau)$, где Δm – потеря массы образца, г; S – площадь образца, м^2; τ – время, час), глубинный показатель ($П = K_m \cdot 8{,}76\cdot 10^{-3}/7{,}86$, мм/год; где 7,86 – плотность стали г/см^3), коэффициент торможения коррозии ($\gamma = K_m / K_m^{/}$, где K_m, $K_m^{/}$ – скорость коррозии без и в присутствии ингибитора), степень защиты ($Z = 1 - 1/\gamma$).

В качестве коррозионных сред использовали кислотные (2М CH_3COOH, 5М CH_3COOH, 1М H_2SO_4 и 0,1М HCl) и нейтральный (10 % NaCl) водные растворы. Время испытаний – 24 часа, температура – 20 °С. Концентрация ингибиторов 1–20 г/л. Статистическую обработку результатов при определении скорости коррозии проводили для уровня вероятности 0,95 при числе измерений n = 5. Относительная ошибка не превышает 10 %.

Поверхностную активность ингибиторов оценивали по величине краевого угла смачивания поверхности (θ), который определяли по фотографиям капель растворов, полученных с использованием микроскопа.

Ингибирующие композиции сока *Aloe Vera* с производными оксадиазола готовили путем смешивания компонентов. Коэффициент синергизма рассчитывали по формуле $\gamma_{син} = \gamma_{комп} / (\gamma_1 + \gamma_2 - 1)$, γ_1, γ_2 – коэффициенты торможения компонентов композиции при соответствующих концентрациях.

Исследование влияния сока *Aloe Vera* на коррозию стали Ст3пс показало, что он проявляет противокоррозионную активность в нейтральной и кислых средах (табл. 1). Большая степень защиты обеспечивается в растворах уксусной и серной кислот, в которых поверхность стали заряжена положительно [21]. Причем с уменьшением pH, что показано на примере уксусной кислоты, ингибирующее действие возрастает.

Таблица 1

Показатели коррозии стали Ст3пс в нейтральной и кислых средах (С = 20 г/л)

Коррозионная среда	pH	П, мм/год	K_m, г/(м^2·час)	γ	Z %
10 % NaCl	7,0	0,20	0,18	-	-
10 % NaCl + *Aloe Vera*	7,0	0,16	0,14	1,28	21,9
2М CH_3COOH	2,2	1,81	1,62	-	-
2М CH_3COOH+ *Aloe Vera*	2,2	0,68	0,61	2,64	62,1
5М CH_3COOH	2,0	6,73	6,01	-	-
5М CH_3COOH+ *Aloe Vera*	2,0	0,76	0,68	8,84	88,7
0,1М HCl	1,0	1,54	1,38	-	-
0,1М HCl+ *Aloe Vera*	1,0	0,92	0,82	1,68	40,3
1М H_2SO_4	0	14,40	12,84	-	-
1М H_2SO_4+ *Aloe Vera*	0	4,00	3,57	3,6	72,2

Защитные свойства сока *Aloe Vera* могут быть обусловлены содержанием в нем аминокислот. В частности, авторами [22] установлено, что такие аминокислоты, как аланин, лизин, аспарагин проявляют защитное действие до 77 % при коррозии углеродистой стали в 0,1 М растворе серной кислоты.

С повышение концентрации сока коэффициент торможения коррозии увеличивается, что показано на рис. для растворов 5М CH_3COOH.

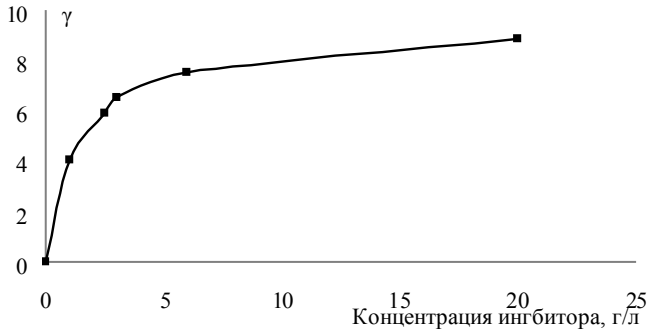


Рис. График зависимости коэффициента торможения коррозии от концентрации сока Aloe Vera

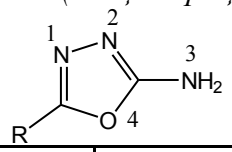
Повысить эффективность ингибитора можно путем создания синергетической композиции. С этой целью нами исследовано ряд синтезированных производных оксадиазола (табл. 2), адсорбционно-реакционные центры гетероцикла которых заряжены отрицательно, что способствует их взаимодействию с положительно заряженными участками поверхности металла.

Установлено, что Ин 1-3 замедляют скорость коррозии стали в 1М серной кислоте в 2,08–2,61 раз (табл. 2). При этом установлена корреляция между значением γ и зарядами на атомах N(1) и N(3). Коэффициент торможения увеличивается с возрастанием отрицательного заряда на N(1) ($\gamma = -3{,}668q + 2{,}344$; $R^2 = 0{,}998$) и уменьшением положительного заряда на N(3) ($\gamma = -13{,}765q + 4{,}580$; $R^2 = 0{,}954$). Это дает основание

предположить, что указанные атомы азота являются основными адсорбционно-реакционными центрами производных оксадиазола.

Таблица 2

Распределение зарядов на адсорбционно-реакционных центрах производных оксадиазола и их противокоррозионные свойства (концентрация 1 г/л) в растворе 1М H_2SO_4



Ин	R	γ	Заряды на адсорбционно-реакционных центрах			
			N(1)	N(2)	N(3)	O(4)
1	-H	2,52	-0,046	-0,198	0,147	-0,139
2	$-CH_3$	2,61	-0,067	-0,143	0,148	-0,119
3	$-CF_3$	2,08	0,067	-0,206	0,180	-0,091

Результаты исследования композиций сока *Aloe Vera* с ингибиторами 1–3 представлены в табл. 3. Установлено, что в случае композиции с Ин 2, ее компоненты проявляют синергизм действия. Это позволяет увеличить степень защиты стали в 1М растворе серной кислоты до 84,6 %.

Таблица 3

Показатели ингибирующего действия и поверхностной активности композиций (20 г/л сока Aloe Vera + 1 г/л Ин) на коррозию стали Ст3пс в 1М растворе H_2SO_4

Состав композиции	K_m, г/(м²·час)	П, мм/год	γ	Z, %	$\gamma_{син}$	cos θ
Aloe Vera + Ин 1	3,10	3,47	4,1	75,6	0,80	0,913
Aloe Vera + Ин 2	1,98	2,21	6,5	84,6	1,24	0,906
Aloe Vera + Ин 3	3,44	3,85	3,7	72,9	0,79	0,951

Для объяснения синергетического эффекта устанавливали влияние производных оксадиазола в составе ингибирующих композиций на гидрофильность поверхности стали. Адсорбция композиций приводит к уменьшению гидрофильности поверхности стали, на что указывает сравнение величины краевого угла смачивания ингибированного (табл. 3) и неингибированного (cos θ = 0,956) растворов 1М H_2SO_4. При этом сок *Aloe Vera* не влияет на величину краевого угла смачивания. Наибольшее влияние установлено для композиции с Ин 2, что и обеспечивает синергетический эффект при ингибирующей композиции.

Таким образом, синергизм компонентов композиции с Ин 2 можно объяснить наибольшим влиянием синергетической добавки на поверхностную активность ингибитора, что обеспечивает уменьшение гидрофильности поверхности стали.

Выводы. Установлено, что сок *Aloe Vera* при концентрации 20 г/л обеспечивает степень защиты стали Ст3пс в 5М растворе уксусной кислоты до 89 %, а в 1М серной кислоты – до 72 % Предложено синергетическую композицию сока *Aloe Vera* и производного оксадиазола – 5-метил-[1,3,4]оксадиазол-2-иламина, которая обеспечивает до 85 % защиты в 1М растворе H_2SO_4. Синергетическое действие компонентов композиции обусловлено влиянием синергетической добавки на поверхностную активность ингибитора, в частности уменьшение способности коррозионной среды смачивать поверхность стали.

Список использованных источников

1. *Древаль О. Ю.* Экономическая оценка экологически обусловленных коррозионных потерь : дис. … канд. экон. наук : спец. 08.08.01 / Ольга Юрьевна Древаль. – Суми, 2005. – 174 с.

2. *Чигиринець О. Е.* Визначення протикорозійної ефективності рослинних екстрактів / О. Е. Чигиринець, В. І. Воробйова // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2010. – № 6. – С. 152–156.

3. *Протикорозійні* властивості продуктів переробки рослинної сировини / О. Сиза, О. Корольов, О. Савченко [та ін.] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2006. – Спецвипуск журналу № 5, т. 2. – С. 874–879.

4. *Oguzie E. E.* Evaluation of the inhibitive effect of some plant extracts on the acid corrosion of mild steel / E.E. Oguzie // Corrosion Science. – 2008. Vol. 50. – P. 2993–2997.

5. *Raja P. B.* Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media / P. B. Raja, M. G. Sethuraman // Materials Letters. – 2008. – Vol. 62. – P. 113–116.

6. *Hasan S. K.* Paniala (Flacourtia Jangomas) Plant Extract as Eco Friendly Inhibitor on the Corrosion of Mild Steel in Acidic Media / S. K. Hasan, P. Sisodia // RASAYAN Journal of Chemistry. – 2011. – Vol.4, No.3. – P. 548–553.

7. *Quraishi M. A.* Green Approach to Corrosion Inhibition by Black Pepper Extract in Hydrochloric Acid Solution / M.A. Quraishi, D.K. Yadav, I. Ahamad // The Open Corrosion Journal. – 2009. – Vol. 2. – P. 56–60.

8. *Saratha R.* Inhibition of Mild Steel Corrosion in 1N H_2SO_4 Medium by Acid Extract of Nyctanthes arbortristis Leaves / R. Saratha, V.G. Vasudha // E-Journal of Chemistry. – 2009. – Vol. 6, №4. – P. 1003–1008.

9. *Shyamala M.* Eclipta Alba as Corrosion Pickling Inhibitor on Mild Steel in Hydrochloric Acid / M. Shyamala, A. Arulanantham // Journal Of Materials Science & Technology. – 2009. – Vol. 25. – P. 633–636.

10. *Saratha R.* Corrosion inhibitor-A plant extract / R. Saratha, R. Meenakshi // Der Pharma Chemica. – 2010. – Vol. 2, №1. – P. 287–294.

11. *Al-Turkustani A. M.* Medicago Sative plant as safe inhibitor on the corrosion of steel in 2.0M H_2SO_4 solution / A.M. Al-Turkustani, S.T. Arab, L.S.S. Al-Qarni // Journal of Saudi Chemical society. – 2011. –Vol. 15. – P. 73–82.

12. *Subhashini S.* Corrosion mitigating effect of Cyamopsis Tetragonaloba seed extract on mild steel in acid medium / S. Subhashini, R. Rajalakshmi, A. Prithiba // E-Journal of Chemistry. – 2010. – Vol. 7. – P. 1133–1137.

13. *Ehteram A. N.* Temperature Effects on the Corrosion Inhibition of Mild Steel in Acidic Solutions by Aqueous Extract of Fenugreek Leaves / A. N. Ehteram // International Journal Electrochemical Science. – 2007. – Vol.2. – P. 996–1017.

14. *Abiola O. K.* The effects of Aloe vera extract on corrosion and kinetics of corrosion process of zinc in HCl solution / O.K. Abiola, A.O. James // Corrosion Science. – 2009. – Vol. 51. – P. 1879–1882.

15. *Al-Turkustani A. M.* Aloe Plant Extract as Environmentally Friendly Inhibitor on the Corrosion of Aluminum in Hydrochloric Acid in Absence and Presence of Iodide Ions / A. M. Al-Turkustani, S.T. Arab, R.H. Al-Dahiri // Modern Applied Science. – 2010. – Vol. 4, № 5. – P. 105–124.

16. *Hart K.* The Inhibitive Effect of Aloe Vera Barbadensis Gel on Copper in Hydrochloric Acid Medium / K. Hart, A.O. James // Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences. – 2014. – Vol. 5(1). – P. 24–29.

17. *Sribharathy V.* Corrosion Inhibition By An Aqueous Extract Of Aloe Vera (L.) Burm F.(Liliaceae) / V. Sribharathy, S. Rajendran, P. Rengan, R. Nagalakshmi // European Chemical Bulletin. – 2013. – Vol. 2(7). – P. 471–476.

18. *Химический* состав сока алое древовидного (Aloe arborescens Mill.) и его антиоксидантная активность (in vitro) / Д. Н. Оленников, И. Н. Зилфикаров, Т. А. Ибрагимов [и др.] // Химия растительного сырья. – 2010. – № 3. – С. 83–90.

19. *Bachkovskii I. P.* 1,3,4-Oxadiazolo[3,2-a]pyrimidinium salts / I.P. Bachkovskii, V.A. Chuiguk // Chemistry of Heterocyclic Compounds. – 1975. – Vol. 11. – P. 1272–1277.

20. *Фокин М. Н.* Методы коррозионных испытаний металлов / М. Н. Фокин, К. А. Жигалов ; под ред. Я. М. Колотыркина. – М. : Металлургия, 1986. – 80 с.

21. *Иванов Е. С.* Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах / Е. С. Иванов. – М. : Металлургия, 1986. – 174 с.

22. *Огродникова Н. П.* Поведение стали в кислых средах, содержащих аминокислоты, как модель возможного окислительного растворения железа / Н. П. Огродникова, Н. Н. Старкова, Ю. И. Рябухин // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2006. – № 6 (35). – С. 51–55.

УДК 535.343.2

П.К. Горбенко, канд. физ.-мат. наук
А.А. Ковтун, канд. физ.-мат. наук
А.В. Рогоза, канд. физ.-мат. наук
Ю.Е. Шоломий, студент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОБЛУЧЕННЫХ РЕНТГЕНЛУЧАМИ КРИСТАЛЛОВ KCL И KCL:LICL

П.К. Горбенко, канд. фіз.-мат. наук
А.О. Ковтун, канд. фіз.-мат. наук
О.В. Рогоза, канд. фіз.-мат. наук
Ю.Є. Шоломій, студент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ТЕРМОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ ОПРОМІНЕНИХ РЕНТГЕНПРОМЕНЯМИ КРИСТАЛІВ KCL ТА KCL:LICL

Petr Gorbenko, PhD in Physico-mathematical Sciences
Anatoliy Kovtun, PhD in Physico-mathematical Sciences
Aleksandr Rogoza, PhD in Physico-mathematical Sciences
Yuriy Sholomiy, student
Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

THE THERMOLUMINESCENCE OF KCL AND KCL:LICL CRYSTALS IRRADIATED BY X-RAYS

Методом исследования спектров оптического поглощения и спектров термолюминесценции установлено, что кристаллы KCl высокой чистоты и кристаллы KCl с примесью ионов Li+, облученные рентгенлучами при 293 К, обесцвечиваются при нагревании благодаря диффузии и аннигиляции дырочных центров с F-центрами.

Ключевые слова: *облучение, ионы Li^+, спектр оптического поглощения, термолюминесценция, дырочные центры, F-центры.*

Методом дослідження спектрів оптичного поглинання та спектрів термолюмінесценції встановлено, що кристали KCl високої чистоти та кристали KCl з домішкою іонів Li+, опромінених рентгенпроменями при 293 К, обезбарвлюються при нагріванні завдяки дифузії та аніґіляції діркових центрів з F-центрами.

Ключові слова: *опромінення, іони Li^+, спектр оптичного поглинання, термолюмінесценція, діркові центри, F-центри.*

Using the method of optical absorption spectrum and thermoluminescence spectrum investigation, it was established that pure KCl and KCl with Li^+ ions admixture are decolorized while heating after being irradiated by X-rays at 293 K because of diffusion and annihilation of hole centers with F-centers.

Key words: *irradiation, Li^+ ion, optical absorption spectrum, thermoluminescence, hole center, F-center.*

Вступление. В работах [1; 2] показано, что кристаллы *KCl* высокой чистоты, облученные рентгенлучами при 77 К, частично термически обесцвечиваются в результате диффузии и аннигиляции дырочных центров с F-центрами, если нагревать образцы от 77 до 353 К. Кристаллы с *F*- и V_3-центрами полностью термически обесцвечиваются при повышении температуры от 353 до 495 К [1; 2].

Мы предлагаем два механизма термовысвечивания рентгенизованных кристаллов:

1. Термоионизация *F*-центров и рекомбинация зонных электронов с дырочными центрами.

2. Диффузия и аннигиляция дырочных центров с *F*-центрами.

Чтобы понять сложные ионно-электронные процессы термического обесцвечивания рентгенизованных кристаллов, важно установить, какой из двух предполагаемых механизмов имеет место. Чтобы выяснить этот вопрос, мы сравнили основные параметры кривых термолюминесценции чистых и примесных кристаллов, отличающихся дырочной компонентой.

Методы и результаты. На рис. 1 приведены спектры оптического поглощения кристаллов *KCl* и *KCl:LiCl*, облученных рентгенлучами при комнатной температуре. С уве-

личением концентрации ионов Li^+ в кристалле V_3-центры пропадают и возникают $V_2^{'}\left(Li^+\right)-$ и $V_2^{''}\left(Li^+\right)$-центры, которые сильно отличаются термической стабильностью. Максимумы $V_2^{'}\left(Li^+\right)-$ и $V_2^{''}\left(Li^+\right)$-полос (5,10 и 5,50 эВ) легко определяются после термического обесцвечивания кристаллов. $V_2^{'}\left(Li^+\right)-$ и $V_2^{''}\left(Li^+\right)$-центры возникают не только в результате рентгенизации кристаллов *KCl:LiCl* при комнатной температуре. Их можно получить путем нагревания кристаллов с $V_1\left(Li^+\right)$-центрами, которые представляют собой межузельные атомы галоида, локализованные возле ионов Li^+ [3]. По всей видимости, с повышением температуры от 77 до 293 К межузельные атомы хлора диффундируют и локализуются возле дефектов кристаллической решетки. Следовательно, составной частью $V_2^{'}\left(Li^+\right)-$ и $V_2^{''}\left(Li^+\right)$-центров является межузельный атом галоида.

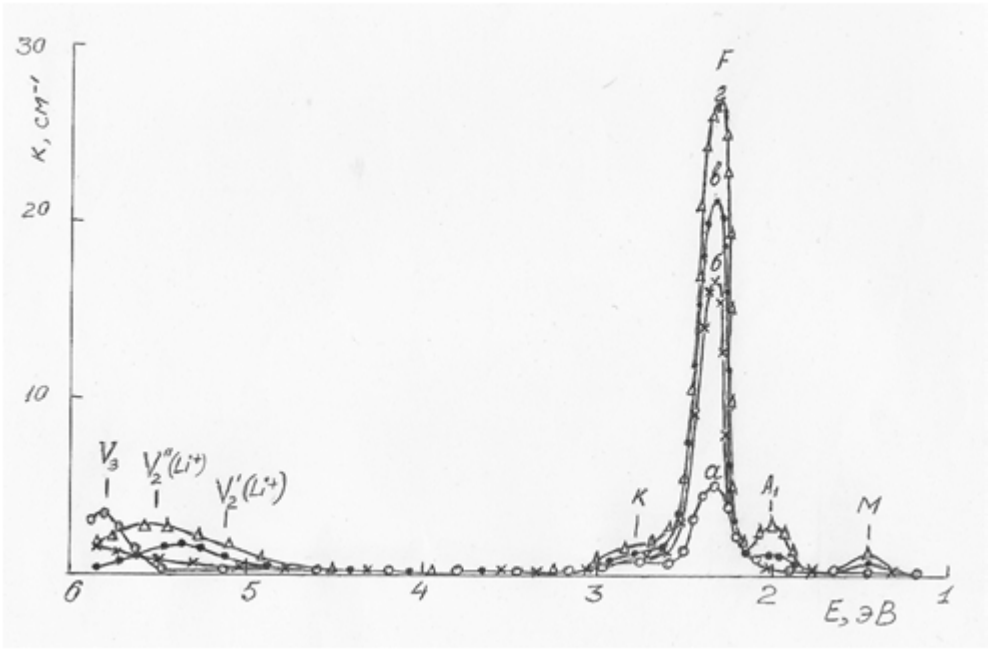


Рис. 1. Спектры оптического поглощения при 77 К кристаллов KCl и KCl:LiCl, облученных рентгеновскими лучами в течение 15 минут при 293 К: а – кристалл KCl высокой чистоты; б, в, г – кристаллы с примесями ионов Li^+ (соответственно 0,01; 0,1 и 1 мол. % LiCl в шихте)

На рис. 2 приведены кривые термолюминесценции кристаллов *KCl* и *KCl:LiCl*. Кривые термолюминесценции характеризуются такими основными параметрами: положением термопиков и энергией активации. В спектрах чистых кристаллов наблюдается один пик термолюминесценции с максимумом при 450 К. В спектрах кристаллов *KCl:LiCl* (0,01 мол. % *LiCl* в шихте) наблюдаются два пика термолюминесценции: при 360 и 450 К. На кривой термовысвечивания кристаллов *KCl:LiCl* (1 мол. % *LiCl* в шихте) имеются два пика люминесценции, соответствующих температурам 360 и 480 К (все пики первого порядка). Пикам при 360, 450 и 480 К соответствуют энергии активации 0,62; 0,58 и 3,12 эВ соответственно.

Таким образом, высокотемпературный пик термолюминесценции кристаллов *KCl:LiCl* (1 мол. % *LiCl* в шихте) отличается более высокими параметрами по сравнению с параметрами термопика чистых кристаллов *KCl*. Следовательно, полное термовысвечивание чистых кристаллов *KCl* происходит вследствие диффузии и аннигиляции дырочных центров с *F*-центрами, поскольку чистые и примесные рентгенизованные кристаллы отличаются только дырочной компонентой.

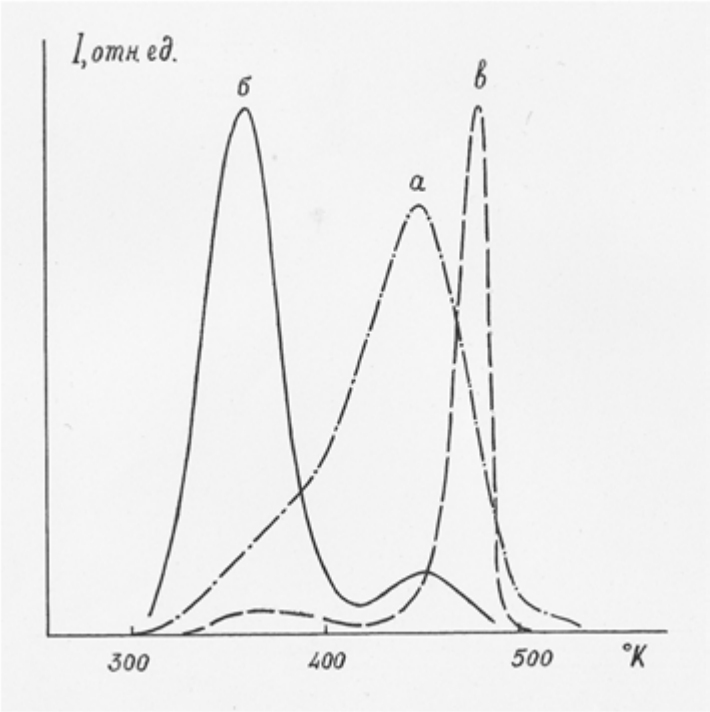


Рис. 2. Кривые термовысвечивания кристаллов KCl и KCl:LiCl, рентгенизованных в течение 30 минут при 293 К: а – кристалл KCl высокой чистоты; б, в – кристаллы с примесями ионов Li+ (соответственно 0,01 и 1 мол. % LiCl в шихте)

Исследования проводились на облученных рентгенлучами кристаллах KCl высокой чистоты, а также с примесью ионов Li^+, выращенных по методу Киропулоса в платиновом тигле во избежание попадания неконтролируемой примеси в расплав соли.

Исходным сырьем для выращивания кристаллов брали соль хлористого калия марки "Х4", из которой затем удалены ионы неконтролируемой примеси путем двойной перекристаллизации в полностью химически обессоленной воде, очищенной с помощью фильтров катионирования и анионирования. Метод перекристаллизации при очистке соли заключался в следующем. При температуре кипения воды растворяют соль марки "Х4" до насыщения. Насыщенный раствор затем охлаждают до комнатной температуры, вследствие чего раствор становится пересыщенным и соль хлористого калия выпадает на дно сосуда. Неконтролируемая примесь остается в растворе, поскольку она составляет небольшой процент в порошке. Раствор примесью сливали, а с оставшейся в сосуде солью повторяли аналогичную процедуру.

Из очищенной указанным выше способом соли в платиновом тигле выращивали кристаллы *KCl*, чистоту которых контролировали методом эмиссионного спектрального анализа. Оказалось, что следов каких-либо примесей в кристалле не обнаружено. Проверку кристаллов на чистоту проводили в лаборатории спектрального анализа института геохимии и физики минералов АН Украины. Для выращивания кристаллов с примесью ионов Li^+ в шихту добавляли определенный молярный процент *LiCl* марки ОС4.

Подъем кристалла, регулирование температуры расплава в печи, а также подача воды для охлаждения штока с затравкой при выращивании кристаллов осуществлялись автоматически. После выращивания кристаллы остывали медленно вместе с печью.

Облучение кристаллов рентгеновскими лучами осуществляли с помощью аппарата РУП-200 при напряжении на трубке 140 кВ и токе 15 мА. Использовалась трубка с вольфрамовым антикатодом.

Для получения кривых термовысвечивания кристаллы помещали в вакуумный криостат, закрепленный с помощью каретки в камере для образцов спектрофотометра СФ-4. С

помощью нагревателя на кристаллодержателе кристалл равномерно нагревали. Постоянная скорость нагревания (примерно, 12 град/мин) устанавливалась путем подбора определенного по величине тока в обмотке нагревателя. Свет термолюминесценции падал на фотоумножитель ФЭУ-19, помещающийся в специальной камере, смонтированной на спектрофотометре вместо камеры для фотоэлементов. Фотоумножитель ФЭУ-19 подключали к электронному автоматическому потенциометру, с помощью которого регистрировали кривые термовысвечивания. Питание фотоумножителя осуществляли с помощью высоковольтного стабилизатора напряжения. В процессе эксперимента с помощью вакуумной системы в криостате поддерживали давление около 10^{-3} мм рт. ст.

Для измерения спектров оптического поглощения образцы помещали в стеклянный вакуумный криостат, в котором с помощью азотных ловушек доводили давление до 10^{-3} мм. рт. ст. Жидкий азот заливался в трубку, которая оканчивается кристаллодержателем. Температуру исследуемых образцов можно изменить от 77 до 600 К при помощи нагревателя, вмонтированного на кристаллодержателе. Спектры оптического поглощения измеряли на спектрофотометре СФ-4 сквозь кварцевые окна криостата, которые прозрачны для света соответствующего спектру поглощения окрашенных рентгенлучами кристаллов. Температуру образца измеряли термопарой (хромель-копель), спай которой плотно запрессован в высверленном на кристаллодержателе гнезде.

Список использованных источников

1. *Горбенко П. К.* Природа и свойства дырочных центров в кристаллах KCl / П. К. Горбенко, А. А. Ковтун // ФТТ. – 1971. – Т. 13. – С. 2766-2769.

2. *Горбенко П. К.* Структура и превращение дырочных центров в кристаллах KCl и NaCl / П. К. Горбенко, Н. П. Калабухов, А. А. Ковтун // УФЖ. – 1972. – Т. 17, № 11. – С. 1866-1873.

3. *Schoemaker D.*, Kolopus J.L. Phys. Rev. B; Solid State. 1970. – Т. 2. – P. 1148.

УДК 667.6

В.О. Комаха, аспірант
Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна
В.А. Свідерський, д-р техн. наук
Національний технічний університет України "Київський політехнічний Інститут", м. Київ, Україна

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНІ МОДИФІКОВАНИХ КАРБОНАТНИХ НАПОВНЮВАЧІВ

В.А. Комаха, аспирант
Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина
В.А.Свидерский, д-р техн. наук
Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБОНАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Volodymyr Komakha, PhD student
Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
Valentyn Sviderskyi, Doctor of Technical Sciences
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ENERGY PROPERTIES OF MODIFIED CARBONATE FILLERS SURFACE

Наведено результати досліджень енергетичного стану поверхонь вітчизняних карбонатних наповнювачів як вихідних, так і механоактивованих у присутності аніонних ПАР. Встановлено, що на зміну властивостей поверхні значний вплив має природа останніх і їх концентрація. Модифікований наповнювач характеризується вищою спорідненістю до неполярних субстратів, що дозволить йому краще розподілятись у матриці полімеру готового покриття.

Ключові слова: *карбонатні наповнювачі, механоактивація, концентрація ПАР, енергетичний стан поверхні.*

Приведены результаты исследований энергетического состояния поверхностей отечественных карбонатных наполнителей как исходных, так и механоактивированных в присутствии анионных ПАВ. Установлено, что на из-

менение свойств поверхности большое влияние оказывает природа последних и их концентрация. Модифицированный наполнитель характеризуется высоким сродством к неполярным субстратам, что позволит ему лучше распределяться в матрице полимера готового покрытия.

Ключевые слова: *карбонатные наполнители, механоактивация, концентрация ПАВ, энергетическое состояние поверхности.*

The results of investigations of the energy surface properties of domestic carbonate fillers in the initial state and activated using anionic surfactants are presented. It is found that a change of surface properties is greatly influenced by the nature of surfactant and its concentration. The modified filler has a high affinity to non-polar substrates, which will allow him to better distributed in the polymer matrix of the finished coating.

Key words: *carbonate fillers, mechanical activation, the concentration of surfactant, the surface energy state.*

Постановка проблеми. Відомо, що серед мінеральних наповнювачів композиційних матеріалів значне місце посідають карбонати. Їх використання зумовлене доступністю та низькою ціною, стабільністю властивостей у широкому інтервалі температур тощо [1; 2].

Суттєвим недоліком карбонатних наповнювачів є низька активність щодо плівкоутворювачів. Змішування високодисперсних наповнювачів і полімерів є складним завданням у технології композиційних матеріалів. Відсутність інтенсивної взаємодії між компонентами призводить до того, що дисперсність частинок наповнювача у полімері стає меншою за дисперсність вихідного наповнювача внаслідок його агрегації [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що механізми взаємодії плівкоутворювачів та наповнювачів визначаються хімічною природою цих матеріалів і характером поверхні наповнювача [4; 5].

Одним із першочергових завдань під час модифікування мінеральних наповнювачів, на думку спеціалістів [6], є створення необхідних умов для максимальної взаємодії на межі поділу фаз з неполярним полімером. Нині механоактивація наповнювачів у присутності різноманітних поверхнево-активних речовин стає основним методом надання індустріальним мінералам специфічних властивостей [7].

У наших попередній роботах було показано вплив дисперсності та фільтраційних властивостей карбонатних наповнювачів на процеси взаємодії в сумішах з водними дисперсіями акрилових полімерів [8], а також ефективність застосування аніонних поверхнево-активних речовин у процесах диспергування і стабілізації водних суспензій вітчизняної крейди [9]. Завдяки підбору виду та структури ПАР можна в рази підвищити активність наповнювача щодо полімеру. Цей метод особливо зручний завдяки простоті технологічного виконання та ефективності дії невеликих концентрацій добавок.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Хоча ідея модифікації поверхні мінеральних наповнювачів не нова, однак можливість спрямованої зміни енергетичного стану поверхні карбонатів, створення необхідного ліофільно-ліофобного балансу з метою наповнення лакофарбових матеріалів недостатньо досліджені.

Під час модифікування карбонатних наповнювачів з метою введення до складу водно-дисперсійних фарб простої гідрофобізації недостатньо, цілеспрямоване регулювання енергетичного стану їх поверхні дасть змогу забезпечити максимальну сумісність з полімерним середовищем і водночас не допустити пептизації у водному середовищі [10]. Саме тому дослідження процесу цілеспрямованої зміни властивостей поверхні наповнювача являє собою як науковий, так і практичний інтерес.

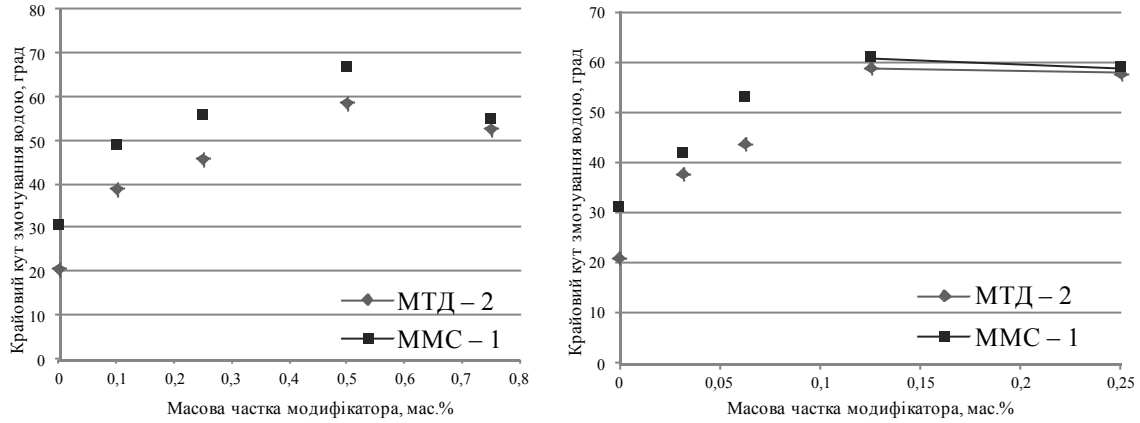
Матеріали та методи. Як матеріал для дослідження обрано крейду українських родовищ марок МТД-2 (ВАТ «Сумиагропромбуд»), ММС-1 (ПрАТ «Н.-Сіверський ЗБМ»). Цільова модифікація карбонатів проводилась через механохімічну активацію поверхні останніх у кульових млинах з використанням відповідних модифікаторів – розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР). Як модифікатори використано водно-спиртовий розчин метилсиліконату калію вітчизняного виробництва (ЗДП «Кремній-полімер») та водний розчин акрилату натрію (BYK Chemie GmbH), що за своєю природою є аніонними ПАР.

Оцінку ефективності активуючої дії модифікатора визначали за показниками крайового кута змочування водою, змочування при натіканні, коефіцієнта ліофільності, умовного тангенса кута діелектричних втрат [11; 12].

Мета статті. Оцінити енергетичний стан поверхні карбонатних наповнювачів механоактивованих за допомогою аніонних ПАР.

Виклад основного матеріалу. Поверхня карбонатного наповнювача володіє високою реакційною спроможністю відносно полярних груп, що, у свою чергу, дає можливість проведення в поверхневому шарі направлених хімічних реакцій з метою отримання більш сумісного з полімерним середовищем наповнювача.

Внаслідок модифікації зазнає змін гідрофільно-гідрофобний баланс поверхні карбонатів, прослідковується збільшення значень крайового кута змочування поверхні наповнювачів водою (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Залежність крайового кута змочування від концентрації модифікатора: а – метилсиліконат калію; б – поліакрилату натрію

Помітне збільшення крайового кута змочування водою вітчизняної крейди внаслідок модифікації, ймовірно, досягається за рахунок екранування гідрофільних груп на їх поверхні. На практиці це зменшує не тільки рівень взаємодії поверхні частинок мінералу з водою, а й між самими частинками, що дозволяє максимально інтенсифікувати процес помелу (диспергування).

Найбільші кути змочування модифікованих карбонатів у дослідженому діапазоні концентрацій модифікаторів становлять відповідно 58–69 та 59–62 градуси. Судячи з залежностей, наведених на графіках, оптимальний вміст метилсиліконату калію становить 0,5 мас.%, метилакрилату натрію – 0,125 мас.%. Подальше збільшення концентрацій модифікаторів є неефективним.

Оцінка ефективності модифікації крейди українських родовищ за значеннями крайового кута змочування водою підтверджується даними показників змочування при натіканні ($B_н$), коефіцієнта ліофільності (β) та умовного тангенса кута діелектричних втрат матеріалів модифікованих метилсиліконатом калію та метилакрилатом натрію (рис. 2). Крім того, ці показники в сукупності дають більш повну характеристику енергетичного стану поверхні карбонатів.

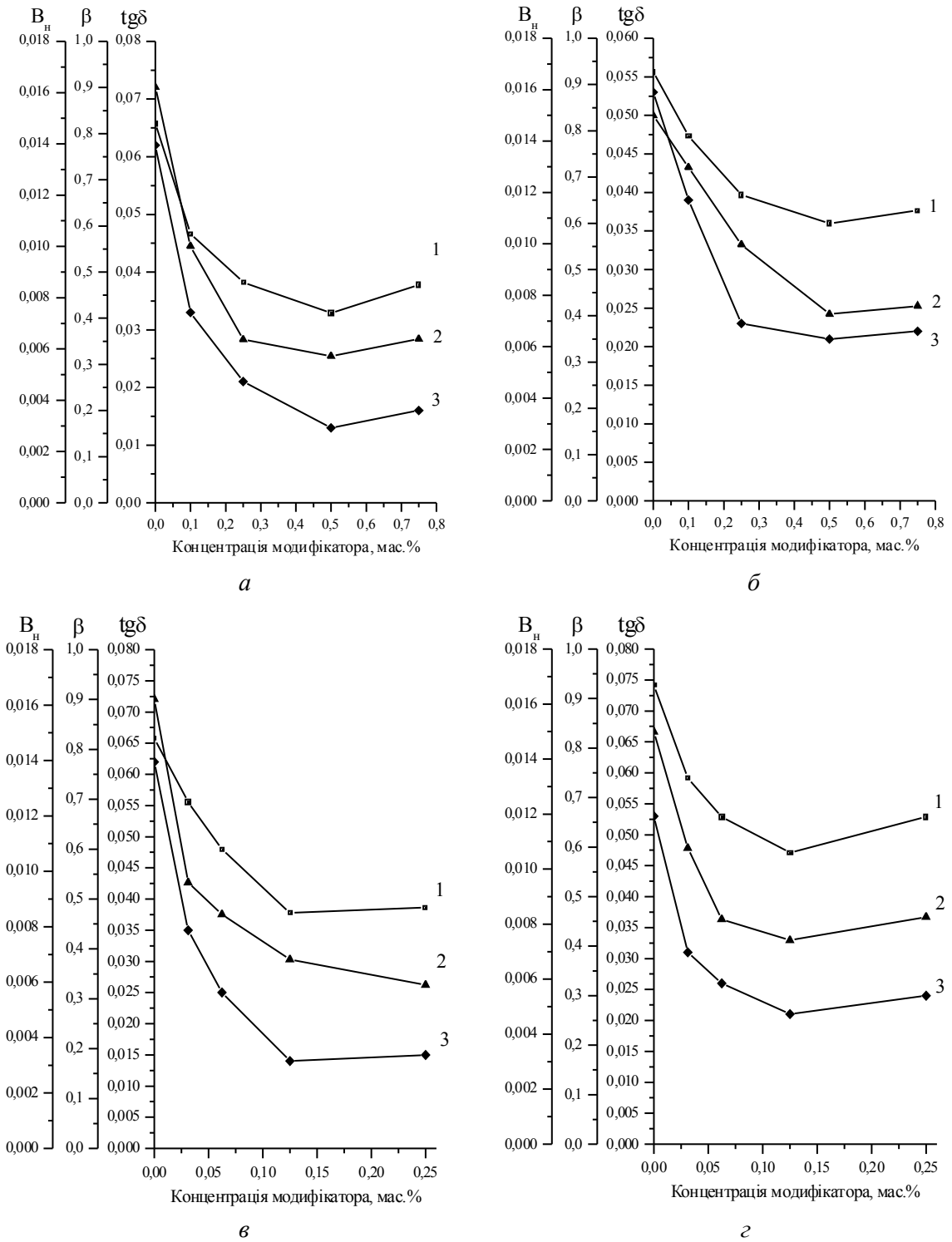


Рис. 2. Залежність змочування при натіканні (1), коефіцієнта ліофільності (2), умовного тангенса кута діелектричних втрат (3) модифікованих крейд: а – МТД-2; б – ММС-1 від концентрації метилсиліконату калію; в – МТД-2; г – ММС-1 від концентрації акрилату натрію

Зменшення показника змочування при натіканні модифікованих карбонатів залежно від концентрації модифікатора має немонотонний характер. На кривих рис. 2 можна виділити три стадії. Перша – описує різке падіння значень $B_н$ у діапазоні концентрацій 0–0,25 та 0–0,0625 мас. % для метилсиліконату калію та акрилату натрію відповідно. Друга – поступове зменшення показника та падіння до мінімуму при оптимальних кон-

центраціях модифікатора. Третя стадія описує незначне зростання змочування водою і свідчить про надлишкову кількість модифікатора, використаного у процесі механоактивації.

Так, під час використання 0,5 мас.% метилсиліконату калію значення $B_н$ для крейди МТД-2 зменшується майже у два рази (від 0,0148 до 0,0074) з подальшим збільшенням до 0,0085 при концентрації 0,75 мас.%. Використання 0,125 мас.% акрилату натрію дає змогу зменшити змочування водою до 0,0085, що свідчить про меншу ефективність такого модифікатора.

Значення тангенса кута діелектричних втрат модифікованих матеріалів значно зменшується в результаті зміни гідрофільно-гідрофобного балансу поверхні матеріалу поверхнево-активними речовинами. Зниження величини tg δ при низьких частотах, ймовірно, викликане зменшенням кількості зарядів при заміщенні поверхневих молекул води або нейтралізацією зарядів у тих місцях, де функціональні групи ПАР пов'язуються з гідрофільними ділянками поверхні матеріалу [11].

Модифікація поверхні карбонатних наповнювачів приводить до зміни її ліофільно-ліофобного балансу. З рис. 2 видно, що використання як модифікатора 0,5 мас. % метилсиліконату калію дозволяє максимально зменшити гідрофільність поверхні наповнювача під час оброблення крейди марок МТД-2 (0,318), ММС-1 (0,404) у порівнянні з акрилатом натрію.

Крейда ММС-1, що має меншу гідрофільність у вихідному стані (показник крайового кута змочування водою – 31 град.), після модифікації має найменше значення β у випадку використання 0,5 мас.% метилсиліконату калію – 0,404 проти 0,412 при модифікуванні метилсиліконатом калію.

Крім того, рівень зменшення коефіцієнта ліофільності тим більший після модифікації метилсиліконатом калію, чим вищим є цей показник у вихідного матеріалу. Для матеріалів активованих у присутності акрилату натрію така залежність відсутня.

Слід також зазначити, що значення tg δ зменшуються для МТД-2 у 4,7 та 4,4 рази, ММС-1 – 3,6 та 2,7 раза при використанні кремнійорганічного та акрилатного модифікатора відповідно.

Висновки і пропозиції. Дослідження карбонатних наповнювачів модифікованих різними розчинами ПАР показали, що на зміну властивостей поверхні значний вплив має як природа ПАР, так і його концентрація.

Визначені оптимальні концентрації для кремнійорганічного модифікатора – 0,5 мас. %, для акрилату натрію – 0,125 мас. %.

Модифікований наповнювач має вищу спорідненість до неполярної поверхні, що дозволить йому краще розподілятись у матриці полімеру готового покриття, підвищити технологічність фарб у процесі нанесення на поверхні.

Список використаних джерел

1. *Караваєв Т. А.* Властивості поверхні карбонатних наповнювачів / Т. А. Караваєв, В. А. Свідерський, І. В. Земляной // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: технічні науки. – 2012. – № 4. – С. 95–100.

2. *Караваєв Т. А.* Особливості хімічного складу та структури вітчизняних і закордонних карбонатних наповнювачів / Т. А. Караваєв, В. А. Свідерський // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: "Хімія, хімічні технології та екологія". – 2012. – № 32. – С. 116–124.

3. *Moczo J.* Adsorption of surfactants on $CaCO_3$ and its effect on surface free energy / J. Moczo, E. Fekete // Progress in Colloid and Polymer Science. – 2004. – № 125. – P. 134–141.

4. *Ліпатов Ю. С.* Фізична хімія наповнених полімерів / Ю. С. Ліпатов. – М. : Хімія, 1977. – 304 с.

5. *Липатов Ю. С.* Адсорбция полимеров / Ю. С. Липатов, Л. М. Сергеева. – К. : Наукова думка, 1972. – 196 с.

6. *Воронков Г. М.* О природе связи водоотталкивающих кремнийорганических покрытий с поверхностью гидрофобизированных материалов / Г. М. Воронков, А. А. Пащенко // Прикладная химия. – 1968. – Т. 38, № 7. – С. 1430–1487.

7. *Ковалева Н. В.* Химическое модифицирование поверхности адсорбентов и его влияние на адсорбционные свойства / Н. В. Ковалева, А. Я. Королев, К. Д. Щербакова // Докл. АН СССР. – 1959. – Т. 124, № 3. – С. 617–620.

8. *Свідерський В. А.* Реологічні властивості модифікованих акрилових дисперсій / В. А. Свідерський, В. О. Комаха // Товари і ринки. – 2014. – № 2. – С. 156–162.

9. *Комаха В. О.* Реологічні властивості водних суспензій карбонату кальцію модифікованих ПАР / В. О. Комаха // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2 (73). – С. 43–48.

10. *Мережко Н. В.* Модифікування поверхні мінеральних наповнювачів як метод регулювання властивостей лакофарбових матеріалів / Н. В. Мережко, О. С. Шульга // Товарознавство і торговельне підприємництво: стан, проблеми, перспективи : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (18-19 квітня 2013 р., м. Київ) / відп. ред. В. А. Осика. – К. : КНТЕУ, 2013. – С. 187–190.

11. *Гидрофобный* вспученный перлит / А. А. Пащенко, М. Г. Воронков, А. А. Крупа, В. А. Свидерский. – К. : Наукова думка, 1977. – 202 с.

12. *Дерягин Б. В.* Прибор для определения коэффициента фильтрации и капиллярной пропитки пористых и дисперсных тел / Б. В. Дерягин, Н. Н. Захаева, М. В. Талаев. – М. : Изд-во АН СССР, 1955. – 11 с.

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 57.087.1

В.П. Войтенко, канд. техн. наук
С.О. Рудаков, магістр
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЦЕВОЇ АКТИВНОСТІ ВБУДОВАНИМ ДАТЧИКОМ ТИСКУ АПАРАТА ДЛЯ ГЕМОДІАЛІЗУ

В.П. Войтенко, канд. техн. наук
С.А. Рудаков, магистр
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРДЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ВСТРОЕННЫМ ДАТЧИКОМ ДАВЛЕНИЯ АППАРАТА ДЛЯ ГЕМОДИАЛИЗА

Volodymyr Voitenko, PhD in Technical Sciences
Serhii Rudakov, master
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

CARDIAC ACTIVITY DETERMINATION WITH HEMODIALYSIS MACHINE`S INTEGRATED PRESSURE SENSOR

Визначено серцеву активність за допомогою вбудованого датчика тиску апарата для гемодіалізу. Проаналізовано наявні способи визначення серцевої активності під час гемодіалізу, сформульовано основні проблеми процесу. За допомогою математичного пакета Matlab створено робочу модель фільтра сигналу серцебиття, причому використано реальну функцію кардіограми та змодельований засобами Matlab сигнал роботи помпи. Запропоновано та проаналізовано три варіанти реалізації структури можливих приладів, які ґрунтуються на розробленій моделі, з використанням окремого комп'ютера, як окремий пристрій та як інтегрований в апарат для гемодіалізу.

Ключові слова: *гемодіаліз, ниркова недостатність, адаптивний фільтр, серцева активність.*

Определена сердечная активность с помощью встроенного датчика давления прибора для гемодиализа. Проанализированы существующие способы определения сердечной активности во время гемодиализа, сформулированы основные проблемы процесса. С помощью математического пакета Matlab создана рабочая модель фильтра сигнала сердцебиения, причем использовано реальную функцию кардиограммы и смоделирован средствами Matlab сигнал работы насоса. Предложены и проанализированы три варианта реализации структуры возможных приборов, основанных на разработанной модели, с использованием отдельного компьютера, как отдельное устройство и как интегрированный в аппарат для гемодиализа.

Ключевые слова: *гемодиализ, почечная недостаточность, адаптивный фильтр, сердечная активность.*

Present study is devoted to the definition of cardiac activity with hemodialysis machine`s integrated pressure sensor. Existing methods for determining cardiac activity during hemodialysis was analyzed. Moreover, there was formulated the basic problems of this process. With the help of mathematical package Matlab, created a working model of a filter for defining cardiac activity from integrated pressure sensor of hemodialysis machine. There was a real cardiac signal used for development of filter. Was proposed and analyzed three possible device structures based on the developed model, which can be implemented in future: using a separate computer, as a stand-alone device and as integrated device into the hemodialysis machine.

Key words: *hemodialysis, renal failure, adaptive filter, cardiac activity.*

Вступ. Ниркова недостатність виникає у 200–500 людей з одного мільйона населення. В наш час кількість людей, хворих нирковою недостатністю, щороку збільшується на 10–12 %. На останній стадії захворювання консервативне лікування вже малоефективне, тому для очищення крові застосовують гемодіаліз. Це процедура, за якої кров людини пропускається через спеціальну очищувальну систему.

Впродовж усієї процедури гемодіалізу необхідно проводити моніторинг декількох параметрів організму. Зокрема, це стосується визначення серцевої активності, що дозволяє вдосконалити моніторинг пацієнтів під час процедури гемодіалізу, підвищити рівень комфорту процедури та, головне, запобігти розвитку недугів, пов'язаних з постійним проведенням цієї процедури. Для контролю серцевої активності застосовують електрокардіограф, проте під час довготривалої процедури гемодіалізу наявність електродів та дротів значно скорочує рухливість пацієнта, вносить додатковий суттєвий дискомфорт.

Проблемі виділення серцевого ритму з датчиків тиску в апараті для діалізу присвячено дуже мало наукової літератури. У дослідженнях [1; 2] запропоновані різні підходи до визначення серцевого ритму з артеріального датчика тиску. Обидва методи, розглянуті в цих роботах, складні та мають низьку швидкодію. Тому актуальним завданням є вдосконалення та розвиток цих методів, їх спрощення та надання можливості отримувати результати майже в реальному часі, що може підвищити економічні характеристики гемодіалізу.

Основи гемодіалізу. Як відомо з [3], діаліз (грец. *dialysis* – розкладання, відокремлення) – очищення ультрамікрогетерогенних дисперсних систем від електролітів та інших низькомолекулярних домішок водою або іншим розчинником за допомогою напівпроникної мембрани. Прилади, в яких проводять діаліз, називають діалізаторами.

Нерідко застосовують комбіновані методи очищення. Прикладом сполучення діалізу з ультрафільтрацією є апарат «штучна нирка», призначений для тимчасової заміни функції нирок при гострій нирковій недостатності. Апарат підключають до системи кровообігу хворого, кров під тиском протікає між двома мембранами, які омиваються ззовні фізіологічним розчином. З крові порівняно швидко видаляються шлаки – продукти обміну і розпаду тканин.

Як вказується в [4], необхідність проведення гемодіалізу встановлюється лікарями залежно від діагнозу та стану пацієнта. Основними показаннями до проведення гемодіалізу є:

- гостра та хронічна ниркова недостатність;
- отруєння деякими речовинами (які можуть бути видалені діалізом);
- передозування лікарських препаратів;
- важкі порушення електролітного складу крові.

При хронічних захворюваннях нирок гемодіаліз починають проводити, коли ниркова недостатність не піддається консервативній терапії та переходить у термінальну стадію (виникають симптоми уремічної інтоксикації).

Метод протипоказаний за наявності злоякісних пухлин, органічних розладах психіки, деяких інфекціях, гемофілії.

Гемодіаліз проводять за допомогою апарата штучної нирки. Будову апарата розглянуто на рис. 1 [5].

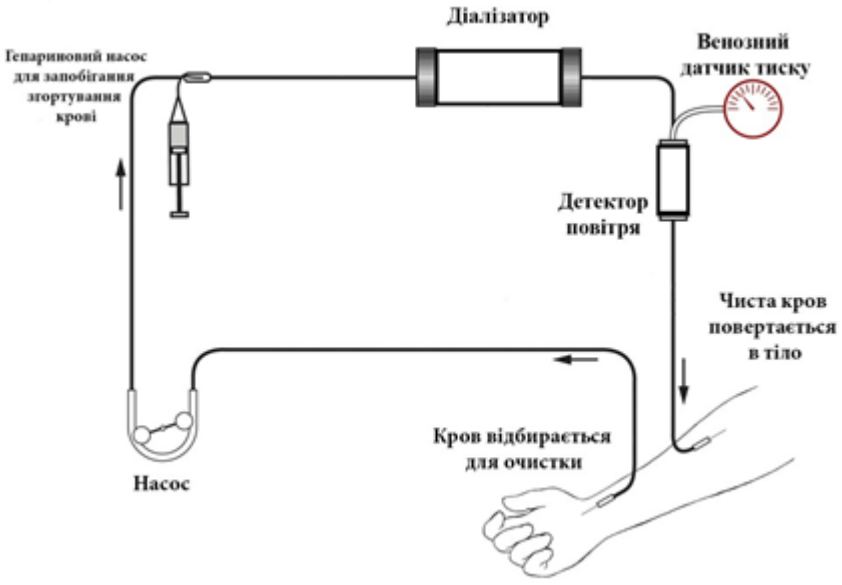


Рис. 1. Будова апарата для гемодіалізу

Апарат складається з таких компонентів: прилад для подачі крові, прилад для приготування та подачі діалізуючого розчину, монітор, діалізатор. Найважливішу функцію виконує діалізатор. Він містить напівпроникну мембрану на основі целюлози або штучних полімерів. Мембрана має площу від 0,2 до 2 м², товщину 8, 11, 15 або 30 мкм, діаметр пор від 0,5 до 5 нм. Вона розділяє внутрішній простір діалізатора на дві частини (для крові та розчину), кожна з яких має свій вхід та вихід. Кров забирається з судин хворого, потрапляє у діалізатор і знаходиться по один бік мембрани. По інший бік знаходиться розчин, який за електролітним складом подібний до складу крові. Завдяки дифузії у бік меншої концентрації через мембрану видаляються речовини з невеликою молекулярною масою (електроліти, сечовина, креатинін, сечова кислота тощо). За допомогою ультрафільтрації видаляється надлишок води та речовини з великою молекулярною масою. Очищена кров повертається до судин хворого.

Найчастішими ускладненнями гемодіалізу [4] є артеріальна гіпотензія, м'язові спазми, нудота та блювота. Артеріальна гіпотензія частіше за все обумовлена дуже швидкою ультрафільтрацією, але може бути обумовлена іншими причинами (серцева недостатність, низький вміст натрію у розчині, септіцемії, тромбоемболії тощо). М'язові спазми часто виникають внаслідок дегідратації. Нудота та блювота можуть бути пов'язані з уремією або артеріальною гіпотензією.

До небезпечних ускладнень відносять гемоліз, який є наслідком перегріву або гіпотонії розчину, механічної травми крові несправним насосом, забруднення розчину хлораміном, нітратами, рідше формаліном.

В Україні, як і в усьому світі, відзначається збільшення кількості хворих на хронічну хворобу нирок (ХХН) V ст., які потребують лікування методами замісної ниркової терапії, зокрема гемодіалізом [6]. Рівень летальності від серцево-судинних ускладнень у цієї категорії хворих приблизно в 20 разів вищий, ніж у загальній популяції [6].

Останнім часом багато уваги приділяють вивченню ролі вегетативних порушень у розвитку серцево-судинних подій, зокрема й хворих, що лікуються гемодіалізом. Так, гіперсимпатикотонія є одним із факторів, що сприяють не тільки прогресуванню ХХН, але й виникненню різноманітних ускладнень [6]. Для оцінювання стану вегетативної нервової системи (ВНС) використовують різні методи: різноманітні вегетативні тести, вимірювання рівня адреналіну та норадреналіну у плазмі, оцінювання зміни артеріального тиску та частоти серцевих скорочень під час проведення ортостатичної проби та ін. На цей час найінформативнішим неінвазивним методом дослідження нейровегетативної регуляції вважається аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР), що дає змогу отримати інтегральну кількісну оцінку за різних функціональних станів, уточнити вплив симпатичних і парасимпатичних ланок ВНС [6].

Велика кількість наукових публікацій присвячена дослідженню ВСР, відзначається прогностична значущість цього методу в оцінюванні ризику фатальних аритмій, серцевої недостатності. Однак існує ще мала кількість робіт, в яких вивчаються показники ВСР у хворих на ХХН, які лікуються сеансами гемодіалізу.

Узагальнюючи результати досліджень, наведених у [6], можна засвідчити, що у хворих, які лікуються гемодіалізом, виявлено зниження загальної потужності нейрогуморальної регуляції, у порівнянні зі здоровими людьми. Тому дуже важливо продовжити вивчення показників ВСР у хворих з ХХН як на додіалізному, так і діалізному етапах лікування з метою виявлення можливої прогностичної значущості змін показників ВСР у цієї категорії хворих.

Метод вимірювання серцевої активності. Визначення серцевої активності під час гемодіалізу може покращити моніторинг пацієнтів [7]. Датчики в машині для діалізу вимірюють серцеву активність тіла. Перистальтичний насос, розташований у тому ж

самому колі, створює сильні періодичні імпульси, які складаються з набагато слабшою складовою – пульсом. Амплітуда тиску насосу в середньому в 100 разів вища амплітуди серцебиття (рис. 2). Тому процес виділення сигналу є досить складним.

У цій роботі досліджено можливість виявлення та дослідження серцевої активності, використовуючи симульовані дані [7]. Результати досліджень [8] показують, що часові характеристики серцебиття можуть бути точно розрахованими, використовуючи вбудовані сенсори апарата для гемодіалізу.

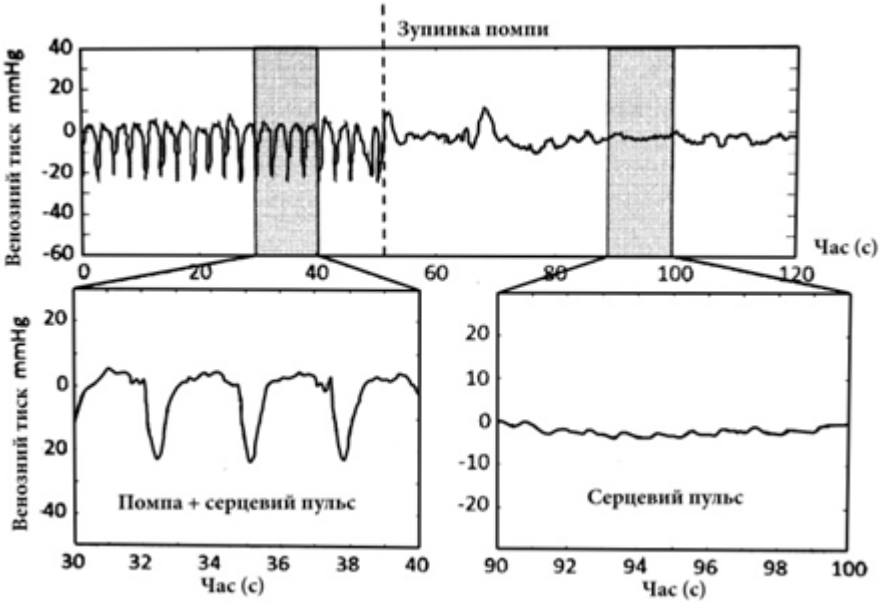


Рис. 2. Діаграма тиску сигналу з датчика

Цей метод є новим і дозволяє розраховувати кожен період серцевого ритму. Суть методу полягає в ітераційному розділенні сигналу на серцеву складову та складову помпи, j=0,1,..,J. Серцева складова розраховується шляхом віднімання змодельованого сигналу помпи від вхідного сигналу. А складова помпи розраховується відніманням від вхідного сигналу змодельованої серцевої складової. Для кожної наступної ітерації модельовані сигнали уточняються, що поступово зменшує паразитну складову в сигналах, що розраховуються. Ітерації продовжуються доти, доки різниця між двома сусідніми ітераціями не буде незначною. Тобто ми використовуємо адаптивний фільтр для виділення сигналу серцебиття від складової помпи.

Двома основними складовими в моделюванні сигналу є сигнал помпи та сигнал серцебиття. Сигнал помпи характеризує зміни в тиску, що викликаються одним тактом роботи помпи. Водночас сигнал серцебиття характеризує зміну тиску, викликану одним серцевим циклом. У кожній ітерації обидва сигнали перераховуються, оскільки обидва сигнали не мають постійного періоду.

Первинне оцінювання серцевої складової отримується відніманням періодичної складової помпи від вхідного сигналу. Неперервний сигнал серцевого ритму отримується складанням усіх розрахованих періодів.

Для реалізації такого завдання було створено модель у пакеті Matlab, в якій для наочності розташовані чотири графіки: сигнал кардіограми, сигнал насоса, сума сигналів кардіограми та насосу і результат роботи фільтра (рис. 3).

Також створена можливість змінювати амплітуду насоса та крок адаптації. Це дає змогу оцінити роботу та дослідити ефективність фільтра при різних значеннях цих параметрів.

На стадії дослідження розробленої моделі сигнал, представлений для фільтрації, містив у собі суму сигналу реальної кардіограми та змодельований сигнал роботи насоса для перекачування крові.

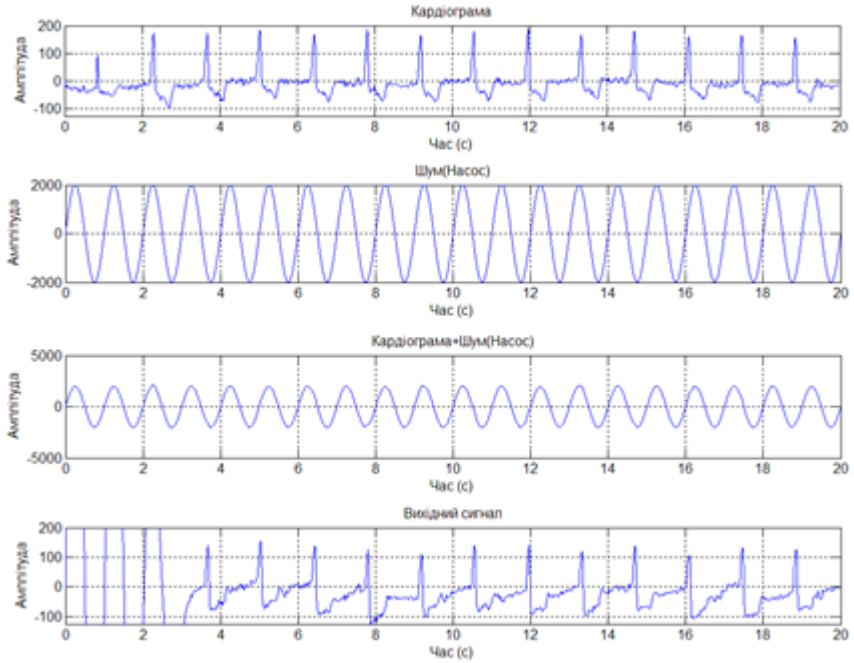


Рис. 3. Інтерфейс робочої програми. Результати фільтрації

Сигнал кардіограми, знятий у реального пацієнта та записаний у текстовий файл. Кардіограма представлена масивом дискретних значень. У нашому випадку сигнал кардіограми містить 5000 відліків. Для створення сигналу насоса використовувалося моделювання. У ході проведення досліджень амплітуда сигналу насоса приймалася в 10–100 разів вищою амплітуди кардіограми.

Після фільтрації сигналу створеним фільтром на виході ми отримуємо сигнал такий, який був на вході. Також на графіку видно процес адаптації фільтра. Швидкість адаптації залежить від кроку адаптації. Чим менший крок адаптації, тим довше вона проходить, але і точніше результат. Результат роботи фільтра з вхідними сигналами можна побачити на рис. 3.

Під час визначення залежності швидкості адаптації фільтра від кроку адаптації було отримано дані, що зображені на рис. 4.

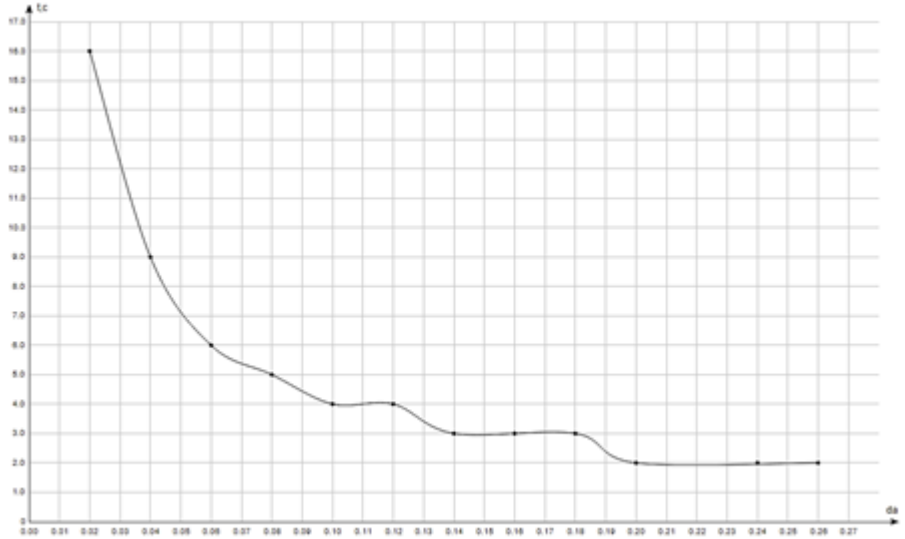


Рис. 4. Залежність швидкості адаптації фільтра від значення коефіцієнта адаптації

Також було проаналізовано залежність швидкості адаптації фільтра від амплітуди насоса. Отримані результати зображені на рис. 5.

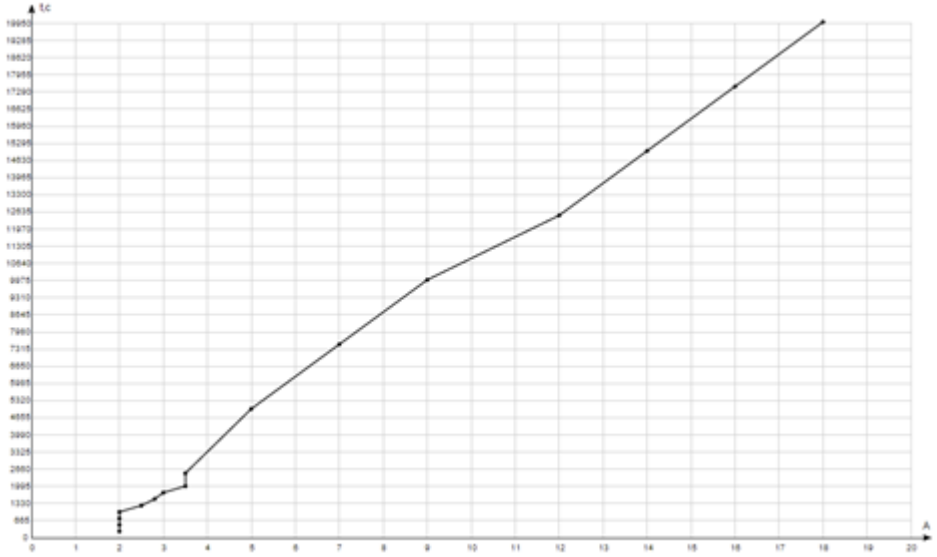


Рис. 5. Залежність швидкості адаптації фільтра від амплітуди насоса

Встановлено, що під час зниження співвідношення сигнал-шум адаптація уповільнюється. При нормальних умовах (амплітуда насоса в 100 разів більша амплітуди серцебиття) запропонований фільтр адаптується за 10–15 секунд. Цей час можна вважати задовільним, адже сама процедура гемодіалізу триває від 4 до 8 годин.

Перспектива реалізації робочого прибору на основі цифрового сигнального процесора. За своєю функціональністю вона є досить простою, але, водночас, вона добре виконує свою функцію – фільтрує сигнал серцебиття з сигналу датчика тиску у внутрішньому колі прибору для гемодіалізу.

У такому стані модель обробляє готові сигнали, але не в реальному часі, що в перспективі є одним із напрямків розвитку цього дослідження.

Існує декілька варіантів реалізації цього приладу на практиці:

– інтеграція такої моделі в апарати для гемодіалізу на рівні розроблення самого апарата гемодіалізу;

– створення окремого пристрою на основі сигнального процесору, який буде під'єднуватись до гемодіалізної машини через інтерфейсний роз'єм;

– оброблення даних з датчика тиску внутрішнього кола на комп'ютері, що під'єднаний до гемодіалізної машини.

Всі варіанти можна використовувати для роботи з розробленою моделлю, кожен з них має свої переваги та недоліки.

Варіант оброблення даних на комп'ютері, що під'єднаний до гемодіалізної машини, є простим, але не раціональним, оскільки невигідно використовувати окремий комп'ютер для процедури гемодіалізу.

Варіант розроблення окремого приладу, що буде підключатись до апарата для гемодіалізу, є економічно вигідним, адже один такий прилад можна буде використовувати на різних гемодіалізних апаратах. Але також він має свої недоліки. Кожна модель апарата для гемодіалізу має свої характеристики, деякі з них не мають інтерфейсного роз'єму. Тому підключення одного апарата до великої кількості діалізних машин буде викликати труднощі під час налаштування перед роботою. Також недоліком можна вважати те, що апарат для гемодіалізу сам має великі габарити і додатковий пристрій додасть дискомфорту у процес його експлуатації.

Варіант інтеграції такої моделі в апарати для гемодіалізу на рівні розроблення самого апарата гемодіалізу є дуже вигідним зі сторони ергономіки та простоти використання. Він має певні переваги серед інших:

– параметри моделі розраховуються для конкретної моделі апарата, тобто не потрібно окремо налаштовувати параметри фільтрації для кожного апарата;

– мінімізовані затрати на електронні компоненти, адже прилад для гемодіалізу вже містить у своєму складі елементи візуалізації, живлення та інші необхідні для функціонування системи;

– ергономічно найвигідніший варіант, оскільки система функціонує всередині апарата для гемодіалізу. Тобто немає потреби кожного разу підключати та налаштовувати прилад перед проведенням процедури гемодіалізу.

Варіант інтеграції запропонованого методу визначення серцевої активності в апарат для гемодіалізу є найбільш вигідним, адже він не потребує додаткових підключень та налаштувань під час експлуатації.

Висновки. Аналіз наявних способів визначення серцевої активності під час процедури гемодіалізу дозволив сформулювати основні проблеми цього процесу, а також можливі ускладнення стану пацієнтів та сформулювати актуальне завдання створення фільтра сигналу помпи.

За допомогою математичного пакета Matlab створено робочу модель фільтра сигналу серцебиття, причому використано реальну функцію кардіограми та змодельований засобами Matlab сигнал роботи помпи разом із перешкодами.

Під час дослідження роботи фільтра було знято залежність швидкості адаптації фільтра від кроку адаптації та залежність швидкості адаптації сигналу від амплітуди помпи, які дозволяють оцінити час нового процесу, як задовільний.

Запропоновані та проаналізовані три варіанти реалізації структури можливих приладів, які ґрунтуються на розробленій моделі, з використанням окремого комп'ютера, як окремий пристрій та як інтегрований в апарат для гемодіалізу.

Список використаних джерел

1. *Moissl U.*, Wabel P., Leonhardt S., Isermann R., Krämer M. Continuous observation and analysis of heart rate during hemodialysis treatment. In Proc. Eur. Med. & Biol. Eng. Conf. (EMBEC). – 1999. – Volume 37. – P. 558–559.

2. *Moissl U.*, Wabel P., Leonhardt S., Isermann R., Krämer M. Heart rate monitoring during hemodialysis treatment. In Proc. Eur. Med. & Biol. Eng. Conf. (EMBEC). – 2002. – Volume 3. P. 584–585.

3. *Фізична* і колоїдна хімія / В. І. Кабачний, Л. К. Осипенко, Л. Д. Грицан та ін. – Х. : Прапор : Видавництво УкрФА, 1999. – 368 с.

4. *Ермоленко В. М.* Хронический гемодиализ / В. М. Ермоленко. – М. : Медицина, 1982. – 280 с.

5. *National* Kidney and Urologic Diseases Information Clearinghouse (NKUDIC) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://kidney.niddk.nih.gov/KUDiseases/pubs/hemodialysis.

6. *Розенталь Р. Л.* Лечение хронической почечной недостаточности / Р. Л. Розенталь. – Рига, 1984. – 235 с.

7. *Лобода О. М.* Варіабельність серцевого ритму у хворих, які лікуються гемодіалізом / О. М. Лобода, І. О. Дудар, Ю. І. Гончар // Український журнал нефрології та діалізу. – 2013. – № 2. – С. 37– 39.

8. *Mattias Holmer*, Egl˙e Grigonyt˙e1, Kristian Solem, Bo Olde, Frida Sandberg, Leif Sörnmo. Determining Heart Activity Present in the Pressure Sensors of a Dialysis Machine // Computing in Cardiology Conference (CinC). – 2013. – P. 217–220.

УДК 621.398.96

А.В. Міщенко, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ПИТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В АСПЕКТІ ПІДВИЩЕННЯ ЦІЛЬОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВІАТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ

А.В. Мищенко, канд. техн. наук
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

ВОПРОСЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АСПЕКТЕ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Andreii Mishchenko, PhD in Technical Sciences
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

INFORMATION SECURITY QUESTIONS IN ASPECTS OF IMPROVING THE OBJECTIVE EFFICIENCY OF AIR TRANSPORT

Показано, що вирішення проблеми управління національною авіатранспортною інфраструктурою у сфері інформаційної безпеки лежить у визначенні комплексу проблемних завдань маркетингу та менеджменту на ринку авіаційних перевезень.

Ключові слова: *інформаційна безпека, авіатранспортний комплекс, авіаінфраструктура, цільова ефективність, авіаперевезення, життєвий цикл.*

Показано, что решение проблемы управления национальной авиатранспортной инфраструктурой в сфере информационной безопасности лежит в определении комплекса проблемных задач менеджмента и маркетинга на рынке авиационных перевозок.

Ключевые слова: *информационная безопасность, авиатранспортный комплекс, авиаинфраструктура, целевая эффективность, авиаперевозки, жизненный цикл.*

It is shown, that the problem of the management of national air transportation infrastructure in the field of information security lies in the definition of a complex of problem tasks of management and marketing in the market of air transportation.

Key words: *information security, air traffic complex, target efficiency, air travel, life cycle.*

Постановка проблеми. Максимальна цільова ефективність як кількісна міра досконалості системи інформаційної безпеки є основним показником критерію конкурентоспроможності авіатранспортного комплексу (АТК) на ринку авіаперевезень, тобто умовою безпеки.

АТК є складною системою з функцією перетворення персоналом витрат її власного ресурсного потенціалу в системний ефект за призначенням – наданням послуг щодо повітряних перевезень.

Ресурсний потенціал складають ресурси спеціального та загального призначення.

Спеціальним ресурсом є парк транспортних авіаційних засобів (повітряних суден – ПС), склад засобів забезпечення застосування ПС (аеродромна інфраструктура, системи зв'язку, навігації, управління повітряним рухом тощо). Цей ресурс є невитратним.

Ресурсом загального призначення є енергоносії, матеріали, майно, фінансові та інформаційні ресурси. Цей вид ресурсів витрачається у процесі застосування спеціального ресурсу, який його перетворює саме у системний ефект.

Системним (функціональним) ефектом АТК є обсяг пасажирських та вантажних перевезень за час життєвого циклу системи. Тому АТК потрібно розділяти на види – АТК пасажирських та АТК вантажних перевезень через істотні особливості створення системного ефекту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Різні аспекти проблеми підвищення ефективності авіатранспортного комплексу та систем знайшли відображення у працях багатьох учених: А.П. Кузнецова, А.В. Кутиркіна, С.В. Трофімова, І.Н. Пугачева, В.Г. Кочерга, В.П. Маслакова, Г.Н. Юн, Н.А. Абрамочкина, А.Н. Сокольников, Ю.А. Чередніченко, В.Б. Марінічев, А.І. Косов, К.В. Марінцева.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Ефективне використання АТК за призначенням на науковій основі пов'язане вже не стільки з впровадженням ресурсозберігаючих технологій, скільки з проблемними завданнями менеджменту щодо створення, експлуатації і модернізації АТК та проблемними завданнями маркетингу на ринку авіаційних перевезень.

Мета статті. Результатом аналізу стану інформаційного ресурсозбереження є підтвердження в цілому неефективного використання ресурсів на усіх етапах життєвого циклу АТК (створення, розгортання, використання, модернізація, утилізація), що і є обґрунтуванням актуальності теми.

Виклад основного матеріалу. Інформаційно-життєвий цикл АТК складають етапи – створення, використання за призначенням (з модернізацією у процесі експлуатації), утилізація.

Доцільна утилізація АТК після закінчення ресурсу (терміну експлуатації) пов'язана з проблемними частковими завданнями формулювання державної політики – продажу, переобладнання елементів АТК для подальшого подвійного використання. Інформаційно-економічним критерієм закінчення терміну експлуатації АТК є його збитковість на ринку авіаційних перевезень (яскравий приклад – комплекс «Конкорд»).

Етап життєвого циклу «створення» АТК, коли одночасні витрати забезпечують проектні характеристики цільової та інформаційної ефективності комплексу, є етапом екстенсивного використання його можливостей (які передбачені проектом АТК) та модернізації.

На основному етапі життєвого циклу АТК – етапі експлуатації (використання за призначенням) – інтенсивне використання можливостей («прихованих» резервів ефективності) досягається виключно оптимізацією управління [4], як способу досягнення мети максимально доцільним використанням інформаційно-ресурсного потенціалу системи. Оскільки ці завдання управління, якщо вони за змістом є завданнями ресурсної оптимізації, спрямовані саме на максимально ефективне використання всіх видів ресурсів АТК, то вони й складають максимально ефективний економічний механізм стимулювання ресурсозбереження на ринку авіаційних перевезень [3].

Основне завдання менеджменту на ринку АП – створення АТК максимальної цільової ефективності. Це комплекс заходів щодо визначення потрібного класу ПС та їх кількості, розроблення доцільного проекту АТК, постачальників основного ресурсу та ресурсу забезпечення, розроблення економічно ефективної цільової програми створення АТК.

Оптимальне розташування системи об'єктів АТК. Це завдання забезпечує доцільне територіальне розташування об'єктів АТК за умов ефективного застосування АТК на ринку АП врахуванням:

– можливостей районів розташування щодо розміщення потрібної кількості одиниць основного ресурсу і ресурсу забезпечення об'єкта АТК (територія аеропорту та його інфраструктури);

– можливостей районів щодо забезпечення потреб у його вільних ресурсах (персонал, енергопостачання, водопостачання, об'єкти соціального забезпечення тощо);

– обмежень районів на забруднення навколишнього середовища (землі, води, повітря);

– питомих витрат на розташування однієї економічної одиниці *i*-го типу АТК в *j*-му районі при мінімумі загальних витрат на розташування АТК загалом в економічній зоні.

Таким чином, оптимізація АТК як системи масового обслуговування забезпечує створення оптимальної структури об'єктів АТК, що забезпечує виконання потрібного обсягу АП при мінімумі «витрат» функціонування системи, а також власних об'єктів ресурсопостачання та обслуговування у процесі експлуатації АТК.

Загальне проблемне завдання маркетингу на ринку АП – застосування АТК з максимальною економічною ефективністю. На основі аналізу ринкової кон'юнктури – ви-

бір оптимальних ціни й об'єму послуг на ринку АП як похідних даних для створення (проектування) АТК та його цільового застосування.

Тендерне завдання. На основі потрібних замовлень і постачань елементів АТК – вивчення ринку розробників АТК, оптимальний розподіл замовлень щодо створення (реалізації проекту) АТК.

Оптимальний розподіл засобів АТК по об'єктах застосування. Забезпечення максимальної економічної ефективності застосування парку ПС при виконанні потрібного обсягу АП мінімізацією кількості ПС (витрат запасу здатності основного ресурсу).

Інформатизація управління ресурсами АТК. Вирішення проблемних завдань маркетингу, згідно з їх змістовою постановкою, можливе тільки сучасними економіко-математичними методами ресурсної оптимізації. Таким чином, управління використанням основних ресурсів (парку ПС АТК) на науковій основі (у межах фінансового забезпечення) потребує розроблення відповідного спеціального математичного і програмного забезпечення для комп'ютерних засобів автоматизації управління.

Аналогічним чином, управління використанням ресурсів забезпечення (інфраструктури АТК) на науковій основі (у межах фінансового забезпечення) потребує також розроблення відповідного спеціального математичного і програмного забезпечення для комп'ютерних засобів автоматизації управління.

Нехай на «період планування» застосування АТК обстеження ринку авіаперевезень для n об'єктів споживання послуг в авіаперевезеннях дало такі статистичні оцінки добових обсягів пасажирських, вантажних, спеціальних перевезень та загального добового обсягу відповідно (пасажиро-кілометрів, тонно-кілометрів):

$$A = \left\langle a_j, j = \overline{1,n} \right\rangle;\ AS = \sum_{j=1}^{n} a_j. \tag{1}$$

Для їх виконання АТК має різнорідні засоби (ПС) m типів з відповідними для *1* розрахункової одиниці (ро) засобів (ПС) *i-го* типу питомими (нормативними) показниками: коефіцієнт «значущості» –

$$\Gamma = \left\| \gamma_{ij} \right\|_{m \cdot n}, \tag{2}$$

де γ_{ij} – значущість *1* ро *i-го* типу при виконанні перевезень для *j-го* об'єкта;
нормативна вантажопідйомність (пасажиро-місткість) –

$$G = \left\langle g_i, i = \overline{1,m} \right\rangle, \tag{3}$$

де g_i – вантажопідйомність (пасажиро-місткість) *1* ро *i-го* типу.

Нехай також визначений очікуваний питомий (при виконанні 1 рейсу) добуток від авіаперевезень –

$$C = \left\| c_{ij} (g_i \cdot d_j) \right\|_{m \times n}, \tag{4}$$

де c_{ij} – добуток для 1 ро засобів (ПС) *i*-го типу при виконанні 1 рейсу авіаперевезень для *j-го* об'єкта, який дорівнює вартості тонно-кілометрів.

Планом розподілу парку засобів (ПС) по об'єктах застосування є матриця –

$$X = \left\| x_{ij} \right\|_{m \times n}, \tag{5}$$

де x_{ij} – кількість ро *i-го* типу, призначених для виконання перевезень на *j-й* об'єкт. Такому плану розподілу, очевидно, буде відповідати системний ефект (обсяг) для кожного об'єкта –

$$w_j(x_{ij}, i = \overline{1,m}),\ \ j = \overline{1,n},, \tag{6}$$

загальний (сумарний) ефект (обсяг) для системи об'єктів –

$$WS(X) = \sum_{j=1}^{n} w_j(x_{ij}, i = \overline{1,m}), \tag{7}$$

а також загальний (сумарний) добуток від виконання авіаперевезень –

$$CS(X) = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}(c_{ij} \cdot x_{ij}). \tag{8}$$

Економічним показником доцільності (ефективності) застосування ресурсів АТК для виконання виробничого завдання є прибуток –

$$PS(X) = CS(X) - RS(X), \tag{9}$$

де *RS(X)* – вартість трудовитрат на виконання авіаперевезень обсягом *WS(X)*.

Рівнем ефективності такого плану вважається співвідношення системного ефекту і витрат, якими цей ефект досягнуто, тобто –

$$ES(X) = WS(X) / RS(X). \tag{10}$$

Основне (обернене) завдання маркетингу для АТК – завдання оптимального розподілу засобів по об'єктах застосування – має таку змістову та формальну постановку: на множині планів розподілу засобів по об'єктах *{X}*, кожний з яких *X* задовольняє обмеження на потрібний рівень обсягу авіаперевезень (критерій придатності планів-рішень) –

$$WS(X) \geq WS^{потр};\ WS^{потр} = KS^{потр} \cdot AS, \tag{11}$$

знайти такий (оптимальний) план X^o, який максимізує прибуток чи мінімізує собівартість авіаперевезень (критерій оптимальності) –

$$PS(X^o) = \max_{\{X\}} PS(X);\ RS(X^o) = \min_{\{X\}} RS(X). \tag{12}$$

Згідно з (10) ефективність цього оптимального рішення буде максимальною –

$$ES(X^o) = WS(X^o) / RS(X^o) = WS^{потр} / \min_{\{X\}} RS(X) = \max_{\{X\}} ES(X). \tag{13}$$

Пряме (другорядне) завдання оптимального розподілу засобів по об'єктах – на множині планів розподілу *{X}*, кожний з яких *X* задовольняє обмеження на припустимий рівень витрат під час виконання авіаперевезень (критерій придатності планів-рішень) –

$$RS(X) \leq RS^{прип}, \tag{14}$$

знайти такий (оптимальний) план X^o, який максимізує ефект (обсяг) авіаперевезень (критерій оптимальності) –

$$\mathrm{W}S(X^o) = \max_{\{X\}} WS(X). \tag{15}$$

Згідно з (10) ефективність цього оптимального рішення також буде максимальною –

$$ES(X^o) = WS(X^o) / RS(X^o) = \max_{\{X\}} WS/RS^{прип} = \max_{\{X\}} ES(X). \tag{16}$$

Формальна постановка цього завдання потребує визначення аналітичного вигляду цільової функції *RS(X)* та функції ефекту *WS(X)* у нерівності-обмеженні для вибору спеціального методу математичного програмування щодо вирішення цього завдання.

Якщо відома вартість питомих трудовитрат на виконання 1 рейсу авіаперевезень для наявної системи засобів та об'єктів –

$$R = \left\| r_{ij}(g_i \cdot d_j) \right\|_{m \cdot n}, \tag{17}$$

то, очевидно, для плану X його собівартість (вартість трудовитрат) дорівнюватиме –

$$RS(X) = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} (r_{ij} \times x_{ij}). \quad (18)$$

Така функція надається лінійною формою матричного аргументу.

Висновки і пропозиції. Таким чином, найбільш доцільним на цей час механізмом стимулювання інформаційного ресурсозбереження на ринку авіаційних перевезень є впровадження в систему організаційного й оперативного управління АТК комплексу основних завдань маркетингу та менеджменту виключно як завдань ефективного використання інформаційних ресурсів на усіх етапах життєвого циклу АТК.

Список використаних джерел

1. *Вентцель Е. С.* Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Сов. радио, 1982. – 362 с.
2. *Міщенко А. В.* Фактори економічної безпеки економіки авіатранспортного комплексу країни як складова інформаційної безпеки держави / А. В. Міщенко // Інформаційна безпека. – 2013. – № 3 (11). – С. 91–97.
3. *Федоренко І. К.* Дослідження операцій в економіці / І. К. Федоренко. – К. : Знання, 2007. – 559 с.
4. *Форрестер Дж.* Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М. : Наука, 1977. – 168 с.

УДК 621-83-52

В.И. Нежурин, канд. техн. наук
С.А. Абрамов, аспирант
Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕЧЕЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В УСЛОВИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.І. Нежурін, канд. техн. наук
С.О. Абрамов, аспірант
Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПЕЧЕЙ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Vadim Nezhurin, PhD in Technical Sciences
Sergey Abramov, PhD student
National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine

IMPROVEMENT OF FURNACES OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES IN THE CONDITIONS OF MACHINERY PRODUCTION

Проанализированы недостатки работы привода перемещения электрода печи ЭШП. Предложен способ модернизации привода, элементная база которого построена на основе регулятора, состоящего из панели оператора, контроллера, преобразователя, частотного преобразователя, редуктора, трансформатора тока, асинхронного двигателя, питающего трансформатора, пульта управления. Предлагаемая модернизация является экономически целесообразной, так как приводит к уменьшению затрат на текущий ремонт при увеличении объема производства.

***Ключевые слова**: модернизация электропривода ЭШП, системы регулирования, контактная аппаратура, система управления.*

Проаналізовано недоліки роботи привода переміщення електрода печі ЕШП. Запропоновано спосіб модернізації привода, елементна база якого побудована на основі регулятора, що складається з панелі оператора, контролера, перетворювача, частотного перетворювача, редуктора, трансформатора струму, асинхронного двигуна, живильного трансформатора, пульта управління. Пропонована модернізація є економічно доцільною, оскільки приводить до зменшення витрат на поточний ремонт при збільшенні обсягу виробництва.

***Ключові слова:** модернізація електропривода ЕШП, системи регулювання, контактна апаратура, система управління.*

The way of modernization of the actuating device, the element base of which, is constructed on the basis of the regulator of the operator consisting of the panel, the controler, the converter, the frequency converter, a reducer, the transformer of current, the asynchronous engine, the feeding transformer, the control panel is offered. The offered modernization is economically expedient as leads to reduction of costs of maintenance at increase in output.

Key words: *modernization of the motor drive of electroslag refining furnace, system of regulation, contact equipment.*

Постановка проблемы. Для успешного развития машиностроения в современных условиях необходимо повсеместное внедрение ресурсосберегающих, малоотходных и безотходных технологий.

Применение различных отходов смежных производств, содержащих дорогие и дефицитные материалы для легирования инструментальных сталей, представляет значительный практический интерес с точки зрения ресурсосбережения, снижения стоимости и расширения объемов производства усиленных материалов.

Анализ последних исследований и публикаций. Изготовление технологической оснастки с широким внедрением литейных технологий позволяет сократить расход дорогих легированных сталей, снизить трудоемкость, дает возможность использовать в качестве исходной шихты отходы инструментального производства (инструментальный лом, стружку, штампы, которые отработали свой ресурс и др.) [1, с. 26–39].

В процессе изготовления литого инструмента возможна корректировка химического состава инструментальных сталей с учетом условий работы и с целью повышения стойкости инструмента.

Известно [2, с. 134–141; 3, с. 98–36], что литая сталь имеет более высокое сопротивление истиранию по сравнению с деформированной, и, особенно, при повышенных температурах, уступает деформированной стали по пластичности [4, с. 117–118].

Одним из перспективных решений этой задачи является внедрение в металлургическое производство принципиально новых способов получения сталей и сплавов, при которых слитки формируются из рафинированного металла в охлаждаемых изложницы – кристаллизаторах печей ЭШП.

Принципиальное отличие электрошлакового переплава заключается в том, что жидкий электропроводящий шлак при прохождении тока нагревается до температуры 1700–2000 °С, при которой плавится электрод, погруженный в шлак. Стекающие капли металла проходят через шлаковую ванну и собираются в кристаллизаторе, который охлаждается водой.

Высокая эффективность электрошлакового переплава (ЭШП) объясняется тем, что он позволяет получать слитки с минимальной химической и физической неоднородностью, а также повысить общую чистоту металла, снижая содержание вредных примесей.

В связи с тем, что мощность, выделяемая в ванне, распределяется в ее объеме неравномерно, неравномерным является и распределение температур. Наиболее нагретая часть ванны находится под электродной областью, где находится тепловое ядро с температурами 1900–2100 °С. В остальных зонах ванны температура ниже, что определяется интенсивным отводом тепла от границ ванны.

Электрошлаковые печи обычно питаются от источников переменного тока промышленной чистоты. Ванна жидкого шлака является проводником и при протекании через нее тока играет роль нагревателя. Для компенсации электрода при оплавлении его непрерывно подают вниз.

В печах ЭШП одним из основных элементов конструкции является привод подачи электрода, который должен обеспечивать непрерывную или прерывистую подачу электродов в шлаковую ванну с регулируемой скоростью, которая определяется технологическим процессом переплава [5, с. 115–136].

Приводы должны обеспечивать рабочие скорости подачи электродов в пределах 0,2–3 м/ч. Для сокращения межплавочних простоев целесообразно иметь вторую, маршевую скорость. В зависимости от конструктивных особенностей печи маршевая скорость составляет 3–120 м/ч.

В механических приводах для обеспечения широкого диапазона скорости подачи электродов используют три способа:

– плавное изменение числа оборотов электродвигателя в пределах 1÷100 и выше;

– переключение с рабочей скорости на маршевую с помощью двух электромагнитных муфт;

– переключение с рабочей скорости на маршевую с помощью дифференциального редуктора.

Печь электрошлакового переплава типа А-550 относится к однофазным, одноэлектродным печам с выплавкой в «глухой» кристаллизатор. Предназначается для получения слитков весом до 50 кг для кокильного литья и слитков из инструментальных, конструкционных марок сталей из отходов основного производства и медных заготовок из лома и стружки, образующихся в результате производственной деятельности завода.

Технические характеристики печи приведены в табл.

Таблица

Техническая характеристика печи электрошлакового переплава типа А-550

№ п/п	Технические характеристики	Значения
1	Мощность, кВА	170
2	Максимальный ток, А	2000
3	Число ступеней напряжения, шт	6
4	Число фаз, шт	1
5	Частота тока, Гц	50
6	Размеры электрода расходуется, мм: длина диаметр	 800–2500 35–60
7	Размеры кристаллизатора, мм: высота диаметр	 350 80
8	Вес выплавляемого слитка, кг	10–50
9	Ход каретки электрододержателя, мм	2000
10	Скорость перемещения электрода, м/мин.: маршевая рабочая	 3 1
11	Расход охлаждающей воды, $м^3$/ч	10

В печи ЭШП типа А-550 поддон является токопроводящим элементом электрической цепи. Для создания надежного контакта между выплавляемым слитком и поддоном на него укладывают специально проточенную шайбу – «приманку».

При увеличении диаметра электрода до 60 мм возможность переплава обеспечивается параметрами силового трансформатора ТДФЖ-2002УЗ.

Выделения не решенных ранее частей общей проблемы. В ходе проведения исследования были выявлены следующие недостатки:

– не обеспечивалось строго вертикальное перемещение электрода в зоне плавления кристаллизатора, что приводило к его прикосновению к стенкам кристаллизатора и возникновению «короткого замыкания»;

– не обеспечивалась стабильная работа привода электрода; двигатель постоянного тока кратковременно останавливался, что заставляло вручную прокручивать привод;

– невозможность отключения электропитания на кристаллизаторе при подъеме электрода из зоны переплава, что в моменты соприкосновения электрода к стенкам кристаллизатора приводило к режиму «короткого замыкания»;

– не обеспечивалась равномерность толщины опытного образца в сечении, поскольку режим ручной подачи электрода в зону переплава приводил к неравномерности его подачи, большим колебаниям тока переплава.

Цель статьи. Главной целью данной работы является модернизация электроприводов, построение принципиально новых систем регулирования, повышение уровня коммутационной износостойкости контактной аппаратуры или применения бесконтактной аппаратуры и элементов унифицированных блоков системы регулирования, что позволяет использовать прогрессивный модульный принцип построения систем управления и автоматизированных приводов в целом.

Изложение основного материала. Основным направлением модернизации привода перемещения электрода ЭШП может быть переход на одну из современных систем привода, элементная база которого построена на основе частотного преобразователя.

Наиболее распространенными типами преобразователей, применяемых в управляемом электроприводе, являются полупроводниковые статические преобразователи и преобразователи частоты.

Применение преобразователя частоты позволяет получить экономию электроэнергии до 60 %, поскольку пуск двигателя происходит плавно, без значительных пусковых токов и ударов, снижает нагрузку на двигатель и механизмы, увеличивает срок их службы.

Таким образом, применение системы ПЧ-АД в электроприводе механизма перемещения электрода печи ЭШП типа А-550 позволит обеспечить следующие технологические свойства:

– возможность плавного регулирования скорости;

– поддержание стабильной скорости при малых ее значениях;

– реверсивную работу привода;

– возможность быстрого разгона приводного двигателя до заданной скорости и его торможения;

– высокую перегрузочную способность приводного двигателя по току и момента;

– высокую степень надежности работы электропривода и системы управления.

Для большинства современных промышленных машин используется электропривод переменного тока в связи с тем, что такие двигатели имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с двигателями постоянного тока. Эти преимущества связаны с отсутствием в машинах переменного тока электромеханического преобразователя рода тока – коллекторно-щеточного узла, который снижает надежность двигателя и повышает эксплуатационные расходы. Кроме того, машины постоянного тока имеют сравнительно высокую стоимость и массогабаритные показатели.

Электропривод переменного тока может быть построен на базе асинхронного или синхронного двигателя. Основными преимуществами синхронных двигателей является абсолютно жесткая механическая характеристика возможности регулировки коэффициента мощности. Но вследствие более сложной конструкции и повышенной стоимости использования синхронных двигателей является технически и экономически оправданным только при мощности не менее 500 кВт, поэтому наиболее целесообразным в данном случае является использование асинхронного двигателя.

Электрошлаковый процесс (бездуговой) обеспечивается подбором питающего напряжения 24–64 В, положением электрода в шлаке и уровнем мощности. Поэтому электрошлаковая печь, как приемник электроэнергии, является печью сопротивления непрямого действия с жидким нагревателем.

Электрошлаковые печи, как электротехнологические агрегаты, имеют циклический характер работы. Цикл плавки разбивается на «горячее» время, в течение которого

происходит переплав электрода, и «холодное», затрачиваемое на остывание слитка, наведения шлаковой ванны и подготовительные операции.

Нагрузка электрошлаковой печи при правильно выбранном электрическом режиме является спокойной, без коротких замыканий и бросков тока, кроме кратковременного начального этапа – периода наведения шлаковой ванны при «твердом старте».

Во время плавки нагрузка печи неравномерна, это связано с тремя основными факторами:

– нестационарностью теплового режима в начальный период плавки;

– изменением геометрических размеров слитка и уменьшением сопротивления сети, которая подводит электроэнергию.

На рис. 1 показана типичная кривая изменения мощности печи при переплаве электродов в гладкий кристаллизатор со значительной конусностью. Из него видно, что во время плавки вводится мощность, которая закономерно уменьшается, особенно сильно в период вывода усадочной раковины.

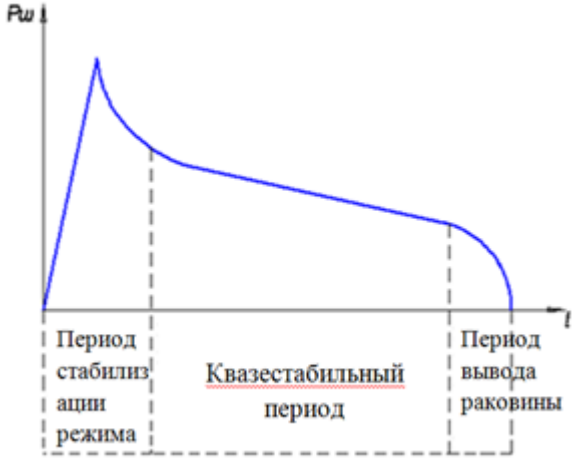


Рис. 1. Изменение мощности ЭШП при плавке

На графике (рис. 2) показана зависимость нагрузки от времени цикла переплава. Цикл работы печи ЭШП типа А-550 составляет 97 минут, из них на получение слитка идет 29 минут, а 68 минут составляет межплавильный простой.

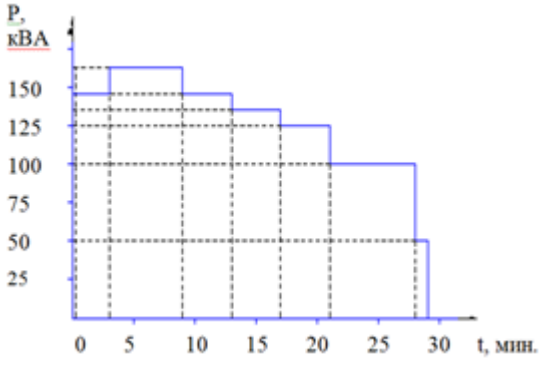


Рис. 2. Индивидуальный график нагрузки ЭШП

Мощность двигателя определялась по диаграмме нагрузки механизма (рис. 3).

Используя вышеустановленное соотношение, было выбрано асинхронный двигатель с коротко замкнутым ротором типа АИР90L4У2, со степенью защиты IP55, для работы данного механизма.

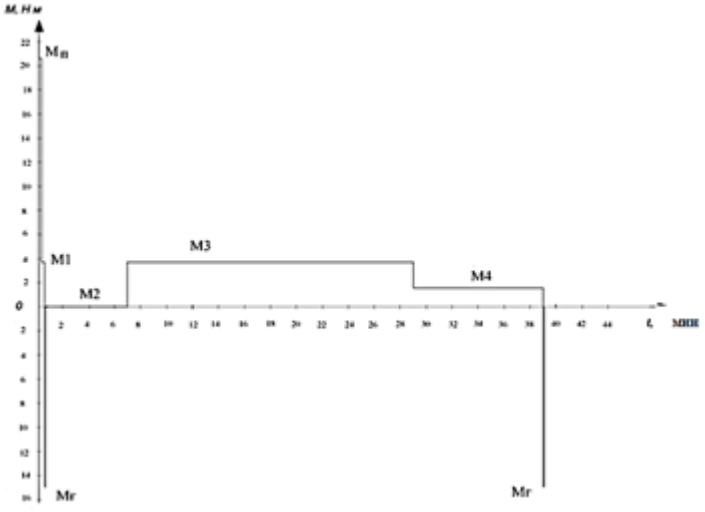
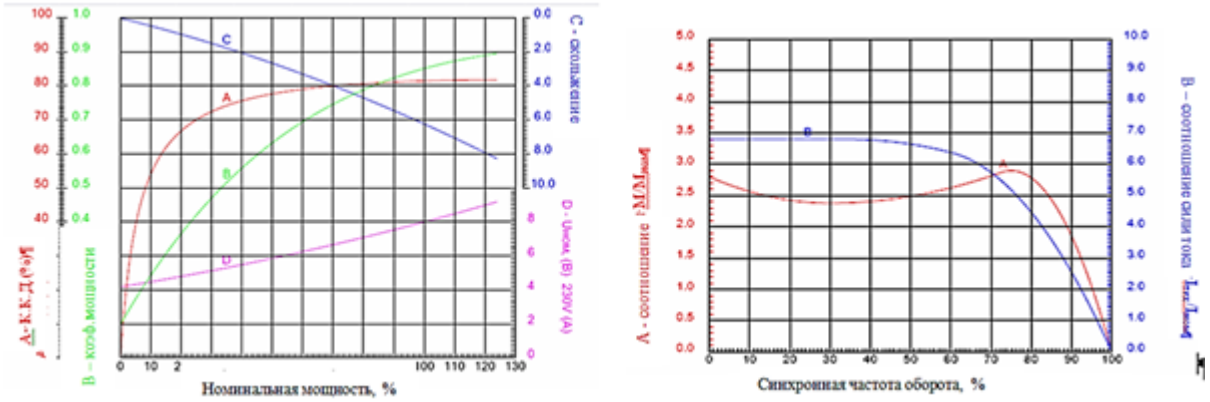


Рис. 3. Уточненная диаграмма нагрузки механизма перемещения электрода

Кривые зависимости характеристик двигателя от мощности (рис. 4, *а*), и от скорости (рис. 4, *б*) приведены на рис. 4.



а *б*

Рис. 4. Кривые зависимости характеристик двигателя: а – от мощности; б – от скорости

На отечественных заводах до сих применяют ряд систем управления процессом ЭШП [6, с. 155–178], преимущественно индивидуального изготовления, в которых используют различные способы регулирования параметров: тока электрода Ір, напряжения Uш.в., сопротивления Rш.в., мощности Рш.в. шлаковой ванны или скорости плавления электрода υп, в некоторых из них в зависимости от длины электрода lэ.

Как известно, в качестве типовых, применяемых в установках ЭШП с электромеханическим приводом электродов и двигателями постоянного тока, являются тиристорные регуляторы серии АРШМТ.

Регуляторы серии АРШМТ рассчитаны на управление приводом электродов с электродвигателями типов ПБСТ или ПГТ мощностью до 11 кВт с номинальным напряжением 220 В.

Проанализировав все разновидности регуляторов тока для электрошлаковых печей, отметим, что все они разработаны для электроприводов на основе постоянного тока. В данном исследовании предлагается использовать регулирования процессом перемещения электрода печи ЭШП с помощью асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором и частотным преобразователем, который программируется контроллером ОВЕН типа ПЛК150-220.И.L с графической панелью оператора типа ИП320. Структурная блок-схема регулятора приведена на рис. 5.

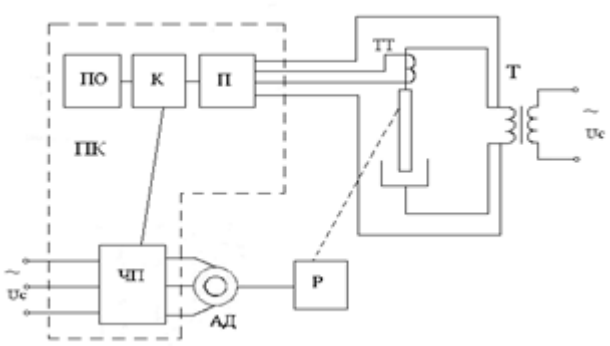


Рис. 5. Блок-схема электропривода перемещения электрода печи ЭШП: ПО – панель оператора, К – контроллер, П – преобразователь, ЧП – частотный преобразователь, Р – редуктор, ТТ – трансформатор тока, АД – асинхронный двигатель, Т – питающий трансформатор, ПК – пульт управления

Прибор «Панель оператора СМИ1» предназначен для отображения и редактирования значений параметров, полученных по сети RS от прибора ОВЕН ПЛК и других приборов ОВЕН и другие производители, работающие по протоколам ОВЕН и Modbus RTU / ASCII.

Панель СМИ1 выполняет следующие основные функции:

– отображение информационных параметров, задаваемых пользователем для мониторинга контролируемых характеристик в сети, вывод информации о максимуме/минимуме контролируемой характеристики, текстового описания в режимах «экран отображения»;

– отображение и редактирование значений контролируемых параметров в режимах «экран редактирование»;

– защита параметров, редактируемые от несанкционированного доступа оператора панели СМИ1;

– получение и отправление в ответ на запрос по сети значений параметров отображения и редактирования и значений состояний дискретных входов по протоколам ОВЕН и Modbus RTU/ASCII;

– перехват сетевыми входами протокола ОВЕН значений параметров и идентификация их на экранах отображения;

– выполнение функций «Мастера сети» для одного интерфейсного порта, выбранного пользователем для работы по протоколам ОВЕН и Modbus RTU / ASCII.

Логический контроллер ОВЕН ПЛК150-220.И-L, который программируется с дискретными и аналоговыми входами и выходами, имеет 6 дискретных входов; 4 аналоговых входа (универсальных); 4 дискретных выхода (э/м реле); 2 аналоговых выхода (второй ЦАП 4...20 мА, 0...10 В или универсальных 4...20 мА / 0...10 В).

Основное использование контроллеров: построение отдельных систем управления и диспетчеризации.

Измерительный трансформатор тока SOCOMEC типа TCB 44-63 используется для передачи сигнала измеренной информации (тока), преобразователю, установки печи ЭШП.

Преобразователь измеренной величины в аналоговый сигнал типа 192Y0285 используется для преобразования измеренного тока в стандартный аналоговый сигнал [7, с. 278].

Преобразователь имеет следующие характеристики: входной сигнал: 5 А; выходной сигнал: 4–20 мА; напряжение питания: 230 В; класс точности: 0,5; рабочая температура: -10...+60 ^{o}C; устанавливается прямо на трансформатор тока.

Таким образом, разработана система, которая может быть использована для управления электроприводом механизма перемещения электрода печи ЭШП.

Благодаря проведенным расчетам было выполнено: выбор и проверка силового трансформатора КТП, выбор и проверка токоведущих частей, выбор высоковольтной аппаратуры присоединения, и сделан окончательный расчет токов короткого замыкания для точки К-1. Данные результаты расчетов соответствуют действительному электроснабжению завода и являются оптимальными.

Предложено частотный способ регулирования работой асинхронного двигателя, который обеспечит плавное регулирование в широком диапазоне, к тому же отличается еще одним важным свойством: при регулировании частоты асинхронного двигателя не осуществляется повышение его скольжения, как это имеет место при реостатном регулировании. Поэтому при этом способе регулирования потери скольжения оказываются небольшими, в связи с этим частотный способ оказывается более экономичным. Как правило, для лучшего использования электродвигателя и получения высоких энергетических показателей его работы (коэффициента мощности и полезного действия) одновременно с изменением частоты питающего напряжения необходимо изменять и значение этого напряжения. Также при частотном регулировании уменьшается пусковой ток, уменьшает нагрузку на питающую сеть.

Выводы и предложения. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что предлагаемая реконструкция является экономически целесообразной, так как при уменьшении затрат на текущий ремонт и увеличении объема производства абсолютная эффективность составляет $Э_{абс} = 2,76$, что в 18,4 раза выше минимально допустимого коэффициента абсолютной эффективности капитальных вложений ($Э_{абсmin}=0,15$). Учитывая то, что большинство подобных установок эксплуатируется достаточно долго и существующее оборудование на данный момент морально и физически устарело, то такая замена является перспективной.

Список использованных источников

1. *Куниловский В. В.* Литые штампы для горячего объемного деформирования / В. В. Куниловский, В. К. Крутиковю. – Л. : Машиностроение, 1987. – 126 с.

2. *Геллер Ю. А.* Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М. : Машиностроение, 1975. – 584 с.

3. *Бельский Е. И.* Стойкость кузнечных штампов / Е. И. Бельский. – Минск : Наука и техника, 1975. – 240 с.

4. *Меркулов Ф. Н.* Исследование температурных условий работы штампов / Ф. Н. Меркулов // Известия вузов «Черная металлургия». – 1968. – № 1. – С. 116–119.

5. *Электрошлаковые* печи / [Медовар Б. И., Ступак Л. М., Патона Б. И. и др.] ; под ред. Б. И. Патона. – К. : Наукова думка, 1976. – 414 с.

6. *Миронов Ю. М.* Теоретическая электротехника электрических электродных печей : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Миронов. – Чебоксары : Чуваш. гос. ун-т им. И. Н. Ульянова, 1997. – 231 с.

7. *Альтера С. В.* Каталог энергетиков и инженеров по автоматизации / С. В. Альтера. – К. : СВ Альтера, 2011. – 352 с.

VISNYK OF CHERNIHIV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

УДК 621.923.042

А.В. Рудик, канд. техн. наук
В.І. Венжега, канд. техн. наук
В.А. Рудик, магістр
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРОДУКТИВНІСТЬ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ПОЗДОВЖНЬОГО ГЛИБИННОГО ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ПЕРИФЕРІЄЮ ТА ТОРЦЕМ ОРІЄНТОВАНОГО АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

А.В. Рудик, канд. техн. наук
В.И. Венжега, канд. техн. наук
В.А. Рудик, магистр
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ПРОДОЛЬНОГО ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ПЕРИФЕРИЕЙ И ТОРЦОМ ОРИЕНТИРОВАННОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Andrii Rudyk, PhD in Technical Sciences
Volodymyr Venzheha, PhD in Technical Sciences
Vladyslav Rudyk, master
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE PRODUCTIVITY OF HIGHLY EFFECTIVE LONGITUDINAL DEEP GRINDING OF ROTATION SURFACES BY SIDE OF THE TOOL AND BY BUTT END OF THE TURNED ABRASIVE INSTRUMENT

Збільшення продуктивності поздовжнього круглого шліфування можна досягти за рахунок включення торцевої ділянки орієнтованого абразивного інструменту у процес зняття припуску, що створює певні переваги: перерозподіл функцій ділянок вздовж профілю, збільшення стійкості інструменту, покращення точності оброблення. В роботі для знаходження швидкості підведення припуску по ділянках поверхні абразивного інструменту запропоновано методику, коли скалярний добуток векторів нормалі та швидкості відносного руху вирішують у системі координат деталі. Для цього використано рівняння орта нормалі та функцію формоутворення оброблення, з якої диференціюванням знаходять швидкість відносного руху.

Ключові слова: *глибинне шліфування, продуктивність шліфування, орієнтований абразивний інструмент.*

Увеличение производительности продольного круглого шлифования можно достичь за счет включения торцевого участка ориентированного абразивного инструмента в процесс снятия припуска, что создает ряд преимуществ: перераспределение функций участков вдоль профиля, увеличение стойкости инструмента, улучшение точности обработки. В работе для нахождения скорости подведения припуска по участкам поверхности абразивного инструмента предложена методика, когда скалярное произведение векторов нормали и скорости относительного движения решают в системе координат детали. Для этого использовано уравнение орта нормали и функцию формообразования обработки, с которой дифференцированием находят скорость относительного движения.

Ключевые слова: *глубинное шлифование, производительность шлифования, ориентированный абразивный инструмент.*

The productivity increase of longitudinal deep grinding can be achieved at the expense of usage butt end area of the turned abrasive instrument in the process of getting down the allowance that provides a number of advantages: redistribution area's functions along the profile, increase of tool durability, improve of processing accuracy. This work suggests the method when scalar product of normal vectors and the speed of movement are calculated in the detail's coordinate system in order to find the speed of supplying the allowance on the areas of the abrasive instrument surface. For this purpose are used unit normal vector equation and the shape formation function of processing from which the speed of relative motion is calculated by differentiation.

Key words: *deep grinding, grinding productivity, turned abrasive instruments.*

Постановка проблеми. Максимальна продуктивність, яка забезпечує потрібну точність та якість оброблення, є інтегральним показником процесу шліфування різноманітних поверхонь. Традиційно при поздовжньому шліфуванні весь припуск підводиться до периферійної ділянки – чим більший припуск, тим більший розмір плями контакту. Продуктивність оброблення безпосередньо пов’язана з інтенсивністю підведення металу і визначає навантаження на робочу поверхню абразивного інструменту, знос його профілю, потужність, яка витрачається на процес різання, і теплову напруженість. Збільшення продуктив-

ності оброблення можна досягти за рахунок включення торцевої ділянки у процес зняття припуску, коли значно зростають розміри плями контакту при майже постійному значенні вектора швидкості відносного руху V_n на торці. Такий підхід приводить до появи певних переваг, серед яких: перерозподіл функцій ділянок вздовж профілю, коли деякі з них зрізують чорновий припуск, інші – виконують фінішне формоутворення; значне, майже на порядок, зменшення зношення круга при підвищенні продуктивності оброблення, бо припуск до торця підводиться майже рівномірно; покращення динаміки та точності оброблення. Тому потребують уточнення та доповнення наявні моделі процесу продуктивності шліфування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення продуктивності поздовжнього шліфування та розширення технологічних можливостей є підвищення швидкості різання, що задається окружною швидкістю круга. Відомо [1; 2], що збільшення швидкості різання (наприклад, у 1,5–2 рази) приводить до істотної зміни вихідних параметрів процесу шліфування та, відповідно, впливає на його ефективність. Іншим напрямом підвищення продуктивності є глибинне шліфування. Під час механічного оброблення матеріалів розрізняють продуктивності зняття припуску і формоутворення [3], за положенням у межах контакту говорять про питому і середню продуктивність, за тривалістю дії розрізняють миттєву і середню тощо.

Продуктивність зростає зі збільшенням скалярного добутку $V_n(\rho,\theta)$ – вектора швидкості відносного руху інструменту на вектор нормалі до його поверхні, який виражає інтенсивність підведення металу до різних ділянок у межах контакту. Зняття припуску із заготовки відбувається при позитивному значенні скалярного добутку $\vec{V}_1 \cdot \vec{n}_i > 0$, а формоутворення поверхні деталі за умови $\vec{V}_1 \cdot \vec{n}_i = 0$.

Метод оброблення, коли інструмент працює в режимі швидкісного глибинного шліфування, був запропонований спеціалістами фірми «Junker Maschinen» для системи QUICCKPOINT (Німеччина) (рис. 1). Однак параметри режимів та зрізу у проспектах детально не наводяться.

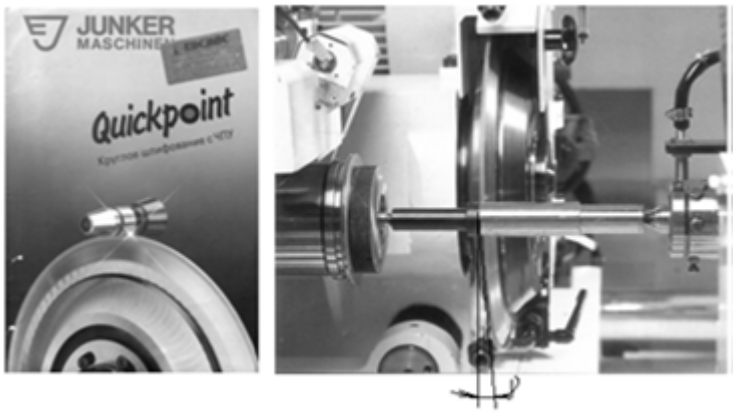


Рис. 1. Обкладинка проспекту фірми «Junker Maschinen»

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Розробленню математичних моделей продуктивності шліфування присвячено багато наукових праць А.І. Грабченка, В.І. Кальченка, В.В. Кальченка [4; 5].

Схема формоутворення, яка заснована на поєднанні обертань шліфувального круга і деталі навколо осей, що перехрещуються, є найбільш загальною, що включає всі інші схеми, як окремі випадки. Для аналізу процесу шліфування торців циліндричних деталей орієнтованим кругом, як окремого випадку шліфування із перехрещеними осями, ними запропонована розрахунково-кінематична схема і рівняння для визначення миттєвої продуктивності оброблення. На основі загальних схем формоутворюючих систем верстатів

для шліфування різних поверхонь із перехрещеними осями круга і деталей розроблена загальна модель знімання припуску і формоутворення, яка має вигляд

$$Q=\sum_{n=1}^{m}\frac{1}{T}\cdot\int^{T_n}\left(\int_{i_1}^{i_2}\left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}}\vec{V}_{in}\cdot\vec{n}_{in}\cdot(R_i-И_{in}\cdot sin\alpha_{in})\left[1-exp\left(-\frac{\sum b(t,\theta)}{b_0}\right)\right]\cdot d\theta_k\right)\cdot\sqrt{\left(\frac{dR_{in}}{di}\right)^2+\left(\frac{dz_{in}}{di}\right)^2}\cdot di\right)\cdot dT_n,$$

де m – кількість одночасно оброблюваних деталей; T – час контакту n-ої деталі з кругом; i_1, i_2 – граничні значення параметра i осьового перерізу круга в зоні контакту; $\theta_{2ki},\theta_{1ki}$ – кутові координати плями контакту на радіусі R_i; $1-exp\left(-\frac{\sum b(t,\theta)}{b_0}\right)$ – ймовірність видалення матеріалу заготовки.

Однак запропонована математична модель продуктивності шліфування є загальною та складною і потребує уточнення. Відомі результати робіт [6; 7; 8], де автори спільно працювали над удосконаленням методики визначення продуктивності. В цій роботі результати доповнено.

Мета статті. Метою цієї статті є проведення аналізу сучасних методів шліфування поверхонь деталей на предмет виявлення резервів підвищення продуктивності та покращення якості оброблення як для відомих, так і для нових запропонованих способів, а також розроблення методики розрахунку завантаження ділянок орієнтованого інструменту при поздовжньому шліфуванні з перехрещеними осями інструменту та деталі.

Виклад основного матеріалу. Для знаходження швидкості підведення припуску по ділянках поверхні абразивного інструменту використаємо скалярний добуток векторів нормалі та швидкості відносного руху, який розглянемо в системі координат деталі. Застосуємо рівняння орта нормалі та функцію формоутворення оброблення, з якої диференціюванням знайдемо швидкість відносного руху.

Як відомо [3; 4], функція формоутворення шліфувальним кругом може бути умовно представлена рівнянням

$$\vec{r_0}(\rho,\theta,\phi)=\prod_{i=1}^{l}A_{i-1,i}^{j_i}\cdot\vec{r}(\rho,\theta), \tag{1}$$

де $\vec{r_0}(\rho,\theta,\phi)$ – радіус-вектор точок поверхні круга;

ρ,θ – криволінійні координати цієї поверхні;

l – кількість ланок формотворної системи.

Орт нормалі до ділянки профілю круга у проекціях на осі визначають через векторний добуток часткових похідних. Після спрощень

$$\vec{n}(\rho,\theta)=\left[\cos\theta\cdot\sin\alpha\cdot\sin\theta\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha\right]^T, \tag{2}$$

де α – кут, який визначає поворот проти годинникової стрілки осі інструменту до положення нахилу вектора нормалі до ділянки інструменту, який спрямований у його тіло.

Перенос нормалі до системи координат деталі виконують згідно з формоутворюючим кодом під час використання можливих спрощень для невільних векторів [1].

Вектор відносної швидкості у системі координат заготовки знаходять диференціюванням рівняння (1), отже:

$$\vec{V_{\partial i}}(\rho,\theta,\phi)=\frac{\partial\vec{r_0}(\rho,\theta,\phi)}{\partial t}=\frac{\partial\vec{r_0}(\rho,\theta,\phi)}{\partial\phi}\cdot\frac{d\phi}{dt}, \tag{3}$$

де $\frac{d\phi}{dt}$ – кутова чи лінійна швидкість;

φ(t) – змінна за часом координата, що відповідає відносному положенню деталі щодо круга. Через незначну зміну за часом положення плями контакту на поверхні круга можна вважати $\varphi = const$, або φ=0.

Кінематика оброблення (рис. 2) включає три основні рухи: обертання круга і деталі, відносну поздовжню подачу. Обертання інструмента можна не враховувати, бо цей рух не приводить до відносної зміни положення верстатних ланок – поверхня круга «ковзає сама по собі».

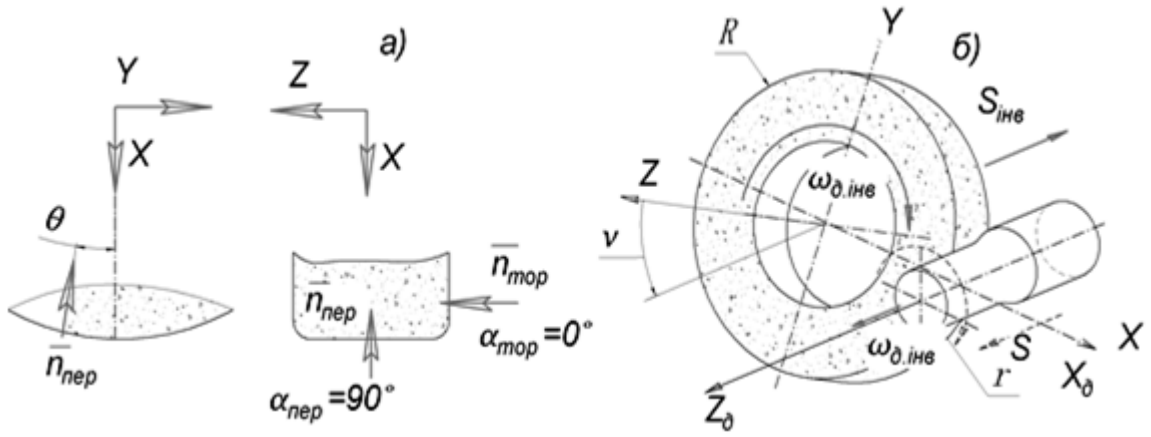


Рис. 2. Схема до визначення V_n

Профіль інструмента умовно можна поділити на три ділянки: периферійну, торцеву, яка зрізує основний припуск, та перехідну, яка з'єднує вказані.

Радіус-вектор периферійної $\overrightarrow{r_{пер}}(\theta, z)$ та торцевої $\overrightarrow{r_{тор}}(\theta, R)$ поверхонь інструменту, записаний через матриці перетворення СК, має вигляд:

$$\begin{aligned} \vec{r}_{пер}(\theta, z) &= A^6(\theta) \cdot A^1(R(z)) \cdot A^3(z) \cdot \overrightarrow{e^4}, \\ \vec{r}_{тор}(\theta, R) &= A^6(\theta) \cdot A^1(R) \cdot A^3(z) \cdot \overrightarrow{e^4}, \end{aligned} \tag{4}$$

де *R(z)* – радіальний розмір положення рухомої точки круга у функції поздовжньої координати.

Вектор нормалі можна визначати за допомогою виразу

$$\overrightarrow{n}(\rho, \theta) = \left[\cos\theta \cdot \sin\alpha \cdot \sin\theta \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha\right]^T.$$

Для периферії кут α між віссю інструмента та напрямком орта нормалі відповідно дорівнює $\alpha_{\text{пер}} = -\pi/2$ для торця $\alpha_{\text{тор}} = 0$, отже, враховуючи малість кута θ та його від'ємне значення в межах контакту, отримаємо:

$$\overrightarrow{n_{пер}}(\theta) = \begin{bmatrix} -\cos\theta \\ \sin\theta \\ 0 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} -1 \\ \theta \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \overrightarrow{n_{тор}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Процес підведення припуску до ділянок інструмента можна записати через функцію формоутворення на верстаті, перенесенням інструменту до СК деталі

$$\vec{r}(\theta, z, \phi) = A^3(-p \cdot \phi) \cdot A^6(\phi) \cdot A^4(-\nu) \cdot A^1(-L) \cdot \vec{r}(\theta, z), \tag{6}$$

де $p=S_0/2\pi$ – параметр гвинтового руху.

Обертання інструмента тут наведено в інверсному русі.

Диференціюванням за часом (або кутом φ) радіус вектора визначає швидкість відносного руху круга у проекціях на осі системи координат деталі

$$V = \frac{\partial \vec{r}(\theta, z, \phi)}{\partial \phi} = \left[p \cdot DA^3(p \cdot \phi) \cdot A^6(\phi) + A^3(p \cdot \phi) \cdot DA^6(\phi) \right] \cdot A^4(-\nu) \cdot A^1(-L) \cdot \vec{r}(\theta, z)$$

$$\vec{V}(\theta)\Big|_{\phi=0} = \omega_\partial \cdot \begin{bmatrix} z \cdot \sin\nu + R \cdot \sin\theta \cdot \cos\nu \\ L - R \cdot \cos\theta \\ S_0 / 2\pi \end{bmatrix} \approx \omega_\partial \cdot \begin{bmatrix} z \cdot \nu + R \cdot \theta \\ r_\partial \\ p \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де $\omega_\partial = \frac{d\varphi}{dt}$, $r_\partial = L - R$.

Вектори нормалі, перенесені до системи координат деталі, мають проекції $\vec{n}_{\partial i} = L^4(\nu) \cdot \vec{n}$).

$$\overrightarrow{n_n}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta \cdot \sin\alpha \\ \sin\alpha \cdot \sin\theta \cdot \cos\nu + \cos\alpha \cdot \sin\nu \\ \cos\alpha \cdot \cos\nu - \sin\alpha \cdot \sin\theta \cdot \sin\nu \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Враховуючи значення кута α для периферійної та торцевої ділянок, тоді

$$\overrightarrow{n_{пер}}(\theta, \nu) = \begin{bmatrix} -1 \\ -\theta \\ \theta \cdot \nu \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} -1 \\ -\theta \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \overrightarrow{n_{тор}}(\theta) = \begin{bmatrix} 0 \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Скалярний добуток цих векторів не залежить від кута φ обертання деталі. Тому параметру φ можна присвоїти будь-яке значення, наприклад, φ=0, що спрощує подальші розрахунки.

Визначимо V_n для кожної з ділянок та проведемо аналіз їх завантаження.

Для малих значень кута ν, що характеризує перехрещення осей, можна замінити значення синуса безпосередньо кутом у радіанах. Тоді значення V_n для торця та периферії

$$\begin{aligned} Vn_{пер}(\theta, z) &= \omega_\partial \cdot (z \cdot \nu + \theta \cdot L), \\ Vn_{тор}(\theta, R) &= \omega_\partial \cdot (p + \nu \cdot r_\partial). \end{aligned} \quad (10)$$

Користуючись першим з цих рівнянь, можна знайти лінію контакту як залежність θ(z), прирівнюючи його до нуля.

$$\theta(z) \approx -\frac{z \cdot \nu}{L}. \quad (11)$$

Звідси знаходять кут її нахилу до осьової площини навколо базової точки та кривизну K Ейлеревого перерізу круга та хвилястість формоутворення у поздовжньому перерізі деталі.

Аналізуючи друге з рівнянь, можна помітити, що швидкість V_n залишається постійною в межах контакту по торцю (в цьому виразі незначно змінюється лише радіус у межах контакту).

Питома та середня продуктивність визначається лише розмірами плями контакту, які значно більші, ніж при круглому поздовжньому шліфуванні. Тому продуктивність шліфування значно вища, а питомі витрати абразивного матеріалу є меншими.

Продуктивність підведення припуску до робочої поверхні круга для поздовжнього глибинного шліфування визначають за подібними залежностями згідно з наведеним методичним підходом.

Висновки і пропозиції. У роботі проведено аналіз сучасних методів шліфування поверхонь деталей на предмет виявлення резервів підвищення продуктивності та покращення

якості оброблення та запропоновано методику, яка дозволяє розраховувати інтенсивність підведення припуску до різних ділянок робочої поверхні круга при шліфуванні одночасно периферією та торцем інструменту, а також до робочої поверхні круга при поздовжньому глибинному шліфуванні. Ця методика може мати практичне використання під час оцінювання техніко-економічних показників на початковій та завершальній стадії процесу.

Розроблена методика дозволяє також порівнювати теоретично розраховані похибки оброблення з експериментальними даними. Складено алгоритм та програми розрахунку в пакеті програм MathCAD. Отримані експериментальні результати не суперечать теоретичним. Похибка знаходиться в межах 10 %.

Список використаних джерел

1. *Маслов Е. Н.* Теория шлифования металлов / Е. Н. Маслов. – М. : Машиностроение, 1974.– 319 с.

2. *Филимонов Л. Н.* Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с.

3. *Решетов Д. Н.* Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.

4. *Кальченко В. В.* Научные основы эффективного шлифования со скрещивающимися осями инструмента и обрабатываемой детали : автореф. дис. … д-ра техн. наук / В. В. Кальченко. – Х., 2006. – 36 с.

5. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧГТУ, 2009. – 356 с.

6. *Повышение* производительности шлифования поверхностей со скрещивающимися осями инструментов и деталей / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научн.-техн. сборник. – 2005. – Вып. 67. – С. 241–246.

7. *Венжега В. І.* Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою : дис. … канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. І. Венжега. – Х., 2009. – 214 с.

8. *Рудик А. В.* Формоутворення торців деталей автомобілів при двосторонньому шліфуванні / А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 2008. – Вип. 34. – С. 80–89.

УДК 534.1:539.3

О.Л. Деркач, аспірант
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРАХУНОК НЕСТАЦІОНАРНИХ КОЛИВАНЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИМИ АКТИВНИМИ НАКЛАДКАМИ ПРИ ВИПАДКОВОМУ КІНЕМАТИЧНОМУ ЗБУДЖЕННІ

О.Л. Деркач, аспирант
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ АКТИВНЫМИ НАКЛАДКАМИ ПРИ СЛУЧАЙНОМ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Oleh Derkach, PhD student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

CALCULATION OF TRANSIENT VIBRATIONS OF A VEHICLE WITH ACTIVE PIEZOELECTRIC PATCHES SUBGECTED TO RANDOM KINEMATIC PERTURBATIONS

Враховуючи широку сферу застосування в техніці smart-матеріалів, при проектуванні необхідно розраховувати smart-конструкції на дію випадкового навантаження. Досліджено демпфірування нестаціонарних коливань моделі транспортного засобу з п'єзоелектричними активними накладками, який рухається по поверхні з випадковими нерівностями. Нестаціонарні коливання досліджуються за допомогою методики скінченно-елементного моделювання у

частотному просторі інтегральних перетворень Фур'є для випадкового навантаження, що дозволяє врахувати реальні фізичні частотні залежності розсіяння механічної та електричної енергії від частоти коливань конструкції.

Ключові слова: *нестаціонарні коливання, випадкове кінематичне навантаження, активне демпфірування, smart-конструкція, перетворення Фур'є, спектральна щільність потужності.*

Учитывая широкую область применения в технике smart-материалов, при проектировании нужно проводить расчеты smart-конструкций на действие случайных нагрузок. Исследовано демпфирование нестационарных колебаний модели транспортного средства движущейся поверхностью со случайными неровностями. Нестационарные колебания исследованы с помощью методики конечно-элементного моделирования smart-конструкций в частотном пространстве интегральных преобразований Фурье для случайного возбуждения, что позволяет учесть реальные зависимости рассеяния механической и электрической энергии от частоты колебаний конструкции.

Ключевые слова: *нестационарные колебания, случайное кинематическое воздействие, активное демпфирование, smart-конструкция, преобразование Фурье, спектральная плотность мощности.*

Given the wide range of applications in the smart-technology materials, the design should be carried out calculations smart-action designs on random perturbations. In the article the damping of non-stationary mechanical oscillations of vehicle model with random moving surface was investigated. The technique of frequency finite element method in Fourier transform frequency in space for the case of random perturbations was used. This method allows to take into account the real physical dependence of the dissipation of mechanical and electrical energy from the oscillation frequency of the structure.

Key words: *non-stationary vibrations, random kinematic perturbations, active damping, smart constructions, Fourier transformation, power spectral density.*

Вступ. Нестаціонарні випадкові кінематичні збудження є характерними для транспортних конструкцій, які рухаються по поверхні з нерівностями, для споруд при землетрусах, конструкцій, що знаходяться у полі інтенсивних звукових навантажень, тощо [1]. Основними проблемами при проектуванні й експлуатації таких конструкцій є зменшення максимальних динамічних напружень і рівня вібрації, підвищення надійності, комфортності і безпеки. Одним з найбільш ефективних способів забезпечення цих вимог є використання сучасних матеріалів зі спеціальними властивостями, так званих smart-матеріалів, зокрема п'єзоелектриків, які за останні десятиліття інтенсивно вивчаються і застосовуються як у найбільших за масштабами конструкціях авіаційної промисловості, так і в одних із найменших – біонічних пристроях [2]. З огляду на зростаючий інтерес до п'єзоелектричних матеріалів і їх застосування для активних методів гасіння коливань різноманітних типів конструкцій, актуальною стає тема розроблення ефективних методів розрахунку дисипативних електров'язкопружних елементів конструкцій, на які діють випадкові нестаціонарні навантаження.

Розглянемо задачу активного і пасивного демпфірування коливань конструкції транспортного засобу при випадковому кінематичному збудженні. На рис. 1 показано принципову схему підключення у ланцюг зі зворотним зв'язком сенсора і п'єзоелектричного актуатора в елементі конструкції транспортного засобу.

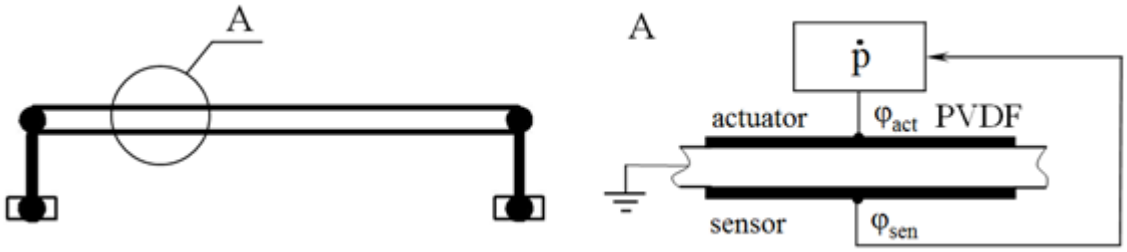
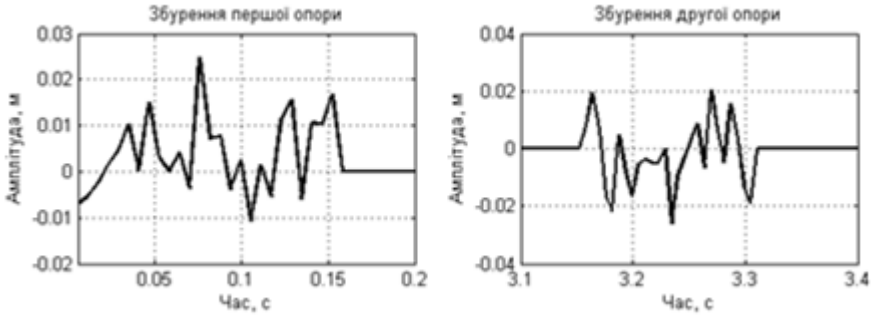


Рис. 1. Принципова схема активного демпфірування фрагмента конструкції транспортного засобу: $\dot{p}$ *– параметр керування, який диференціює за часом сигнал сенсора* φ^{sen}*;* φ^{act} *– різниця потенціалів на електродах актуатора*

Транспортний засіб, який рухається з певною швидкістю по поверхні з нерівностями, піддається дії випадкових кінематичних навантажень. Нерівності поверхні будемо імітувати за допомогою дискретного білого шуму з нормальним розподіленням (рис. 2). Для розрахунків достатньо однієї реалізації випадкового процесу. Нерівності, по яким проходять дві опори конструкції, відповідають різним реалізаціям випадкового процесу.



а *б*

Рис. 2. Нерівності поверхні на першій (а) і другій (б) опорі при проходженні конструкції з певною швидкістю

Випадкові сигнали, що розглядаються (рис. 2), можна проаналізувати, використовуючи спектральні методи теорії випадкових процесів [3; 4]. Для цього знайдемо кореляційні матриці дискретного білого шуму [4, с. 150] на першій і другій опорі. Односторонню спектральну щільність потужності випадкового дискретного сигналу $\mathbf{S}_f(\omega)$ знаходимо за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (FFT) [5; 6]:

$$\mathbf{S}_{f_{1,2}}(j) = \frac{1}{2 \cdot T} \sum_{j=1}^{N} \left| FFT\left[\mathbf{R}_{1,2}(j)\right] / N \right|^2, \; j = 1, 2, \ldots, N, \tag{1}$$

де T – інтервал часу, на якому розглядається процес; N – кількість точок дискретизації; $\mathbf{R}(j)$ – кореляційна матриця випадкового дискретного сигналу. Для дискретного білого шуму кореляційна матриця знаходиться таким чином [4, с. 150]:

$$\mathbf{R}_{1,2}(j) = \left\{\mathbf{x}_{1,2}(j)\right\} \cdot \mathbf{I},$$

де $\mathbf{I}$ – одинична матриця, $\left\{\mathbf{x}_{1,2}(j)\right\}$ – реалізації випадкового процесу (рис. 2) на опорах конструкції транспортного засобу (рис. 1).

Таким чином за допомогою спектральних методів можемо аналізувати випадкові сигнали, знаходячи їх спектральну щільність потужності (1). Вплив цих випадкових збуджень на конструкцію оцінимо, знайшовши динамічний відгук конструкції в частотному просторі. Для цього необхідно мати математичні моделі конструкції в частотному просторі. При цьому важливим фактором для розрахунків конструкцій з активними елементами є врахування розсіяння енергії в електров'язкопружному матеріалі і пасивних елементах несучої конструкції.

Скінченно-елементна модель конструкції. Складність задач механіки взаємодії полів різного походження в матеріалах і елементах конструкцій обумовлює використання наближених методів. Фізичні залежності для п'єзоелектричних матеріалів можна записати за допомогою інтегральних операторів лінійної теорії спадкового середовища – як для лінійного в'язкопружного тіла [7]. Однак безпосереднє використання інтегральних залежностей у задачах динаміки викликає значні труднощі, пов'язані з експериментальним визначенням фізичних параметрів [8] і розв'язком систем інтегродиференційних рівнянь. Задача визначення фізичних праматерів для п'єзоелектричних матеріалів ускладнюється через зв'язаність полів [7].

Відповідно до методики розрахунку в'язкопружних систем, запропонованою у [9; 10], рівняння динаміки, одержані за допомогою принципу Гамільтона-Остроградського, запишемо у просторі перетворень Фур'є. Ця методика дозволяє коректно ввести комплексні пружні п'єзо- та діелектричні сталі без додаткових перетворень експериментальних даних при коливаннях, відмінних від гармонічних. Рівняння відносно зображень переміщень $\mathbf{u}_\omega$ і потенціалу $\boldsymbol{\varphi}_\omega$ у частотному просторі мають вигляд:

$$(i\omega)^2 \mathbf{M}\mathbf{u}_\omega + \tilde{\mathbf{K}}_{uu}\mathbf{u}_\omega + \tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{u\varphi}\boldsymbol{\varphi}^{sen}_\omega + \tilde{\mathbf{K}}^{act}_{u\varphi}\boldsymbol{\varphi}^{act}_\omega = -\mathbf{Z}_1 \cdot \mathbf{S}_{f_1}(\omega) - \mathbf{Z}_2 \cdot \mathbf{S}_{f_2}(\omega) + \mathbf{f},$$

$$\tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi u}\mathbf{u}_\omega + \tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi\varphi}\boldsymbol{\varphi}^{sen}_\omega = 0,\ \tilde{\mathbf{K}}^{act}_{\varphi u}\mathbf{u}_\omega + \tilde{\mathbf{K}}^{act}_{\varphi\varphi}\boldsymbol{\varphi}^{act}_\omega = \mathbf{Q}(i\omega), \quad (2)$$

де $\tilde{\mathbf{K}}_{uu}$ – матриця жорсткості, $\tilde{\mathbf{K}}^{s(a)}_{\varphi\varphi}$ – матриця електричної «жорсткості»; $\tilde{\mathbf{K}}^{s(a)}_{u\varphi}$, $\tilde{\mathbf{K}}^{s(a)}_{\varphi u}$ – матриці, які відповідають прямому та зворотному п'єзоелектричному ефекту відповідно; $\mathbf{M}$ – матриця мас; $\mathbf{Q}(i\omega)$ – вектор електричного навантаження (шунти); $\mathbf{f} = i\omega\mathbf{M}\dot{\mathbf{u}}_t(0) + \mathbf{M}\mathbf{u}_t(0)$, $\dot{\mathbf{u}}_t(0)$, $\mathbf{u}_t(0)$ – початкові швидкості і переміщення вузлових точок відповідно; $\mathbf{Z}_1$, $\mathbf{Z}_2$ – компоненти матриці жорсткості системи, що відповідають граничним кінематичним умовам конструкції (рис. 1); $\mathbf{S}_{f_1}(\omega)$, $\mathbf{S}_{f_2}(\omega)$ – спектр щільності потужності (1) реалізацій випадкового сигналу, що імітує нерівності поверхні на першій і другій опорі відповідно.

$$\mathbf{M} = \int_V \mathbf{N}_u{}^T \rho \mathbf{N}_u dV,\ \tilde{\mathbf{K}}_{uu} = \int_V (\mathbf{A}\mathbf{N}_u)^T \tilde{\mathbf{C}}(i\omega)\mathbf{A}\mathbf{N}_u dV,\ \tilde{\mathbf{K}}^{s(a)}_{u\varphi} = \int_V (\mathbf{A}\mathbf{N}_u)^T \tilde{\mathbf{e}}(i\omega)^T \nabla\mathbf{N}_\varphi dV,$$

$$\tilde{\mathbf{K}}^{s(a)}_{\varphi u} = \tilde{\mathbf{K}}^{s(a)}_{u\varphi},\ \tilde{\mathbf{K}}^{s(a)}_{\varphi\varphi} = \int_V (\nabla\mathbf{N}_\varphi)^T \tilde{\mathbf{k}}(i\omega)\nabla\mathbf{N}_\varphi dV,\ \mathbf{Q}^{s(a)}(i\omega) = FFT\left[\int_S \mathbf{N}_\varphi{}^T \mathbf{q}(S,t) dS\right],$$

де $\tilde{\mathbf{C}}(i\omega) = \mathbf{C}'(\omega) + i\mathbf{C}''(\omega)$ – матриця частотно-залежних комплексних пружних сталих; $\tilde{\mathbf{e}}(i\omega) = \mathbf{e}'(\omega) + i\mathbf{e}''(\omega)$, $\tilde{\mathbf{k}}(i\omega) = \mathbf{k}'(\omega) + i\mathbf{k}''(\omega)$ – відповідно матриці комплексних п'єзоелектричних та діелектричних сталих; ρ – густина матеріалу; $i = \sqrt{-1}$.

Активне гасіння коливань здійснюється за допомогою зміни різниці потенціалів на електродах актуатора φ^{act} з врахуванням показників сенсора φ^{sen} (рис. 1). Налаштування на певну величину потенціалу актуатора будемо здійснювати відповідно до сигналу сенсора за таким законом:

$$\varphi^{act} = -\dot{p}\varphi^{sen},\ \boldsymbol{\varphi}^{act}_\omega = -\tilde{p}\left(\tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi\varphi}\right)^{-1}\tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi u}\mathbf{u}_\omega, \quad (3)$$

де $\tilde{p} = i\omega p$, $p = p_0 \pm p_r$ – стаціонарний параметр керування сигналу сенсора, із номінальним значенням p_0 і певним допуском точності обладнання p_r; $\boldsymbol{\varphi}^{act}_\omega$ – зображення Фур'є потенціалу актуатора.

Щоб отримати рівняння відносно зображень переміщень, виключимо електричні потенціали із першого рівняння системи (2) з врахуванням залежностей між сенсором і актуатором (3) при нульових початкових умовах. Для аналізу імовірнісних характеристик коливань конструкції (рис. 1), на опори якої послідовно діють некорельовані один з одним випадкові кінематичні навантаження, одержимо спектральну щільність потужності відгуку конструкції:

$$\mathbf{S}_u(\omega) = |H(i\omega)|^2 \left(-\mathbf{Z}_1 \cdot \mathbf{S}_{f_1}(\omega) - \mathbf{Z}_2 \cdot \mathbf{S}_{f_2}(\omega)\right), \quad (4)$$

де $H(i\omega)$ – частотна передатна функція системи (2). Ця функція у випадку активного гасіння коливань матиме вигляд:

$$H_{act}(i\omega) = \left[\tilde{\mathbf{K}}_{uu} + \tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{u\varphi}\left(\tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi\varphi}\right)^{-1}\tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi u} - \tilde{p}\tilde{\mathbf{K}}^{act}_{u\varphi}\left(\tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi\varphi}\right)^{-1}\tilde{\mathbf{K}}^{sen}_{\varphi u} - \omega^2\mathbf{M}\right]^{-1}. \quad (5)$$

За відсутності активного демпфірування ($p=0$) розсіяння енергії відбувається тільки за рахунок пасивного. Під пасивним демпфіруванням у такому випадку розуміємо розсіяння механічної й електричної енергії в матеріалі на нагрівання. Залежність (5) у цьому випадку запишемо таким чином:

$$H_{pas}(i\omega)=\left[\tilde{\mathbf{K}}_{uu}+\tilde{\mathbf{K}}_{u\varphi}^{sen}\left(\tilde{\mathbf{K}}_{\varphi\varphi}^{sen}\right)^{-1}\tilde{\mathbf{K}}_{\varphi u}^{sen}-\omega^2\mathbf{M}\right]^{-1}.$$

Як правило, при розрахунках конструкцій транспортних засобів цікавить динаміка під час прискорень. Відгук системи під час прискорення знаходимо за відомою спектральною щільністю потужності (4) [11]:

$$\mathbf{S}_{\ddot{u}}(\omega)=\omega^2\mathbf{S}_u(\omega). \qquad (6)$$

Результати моделювання. Спектральна щільність потужності $\mathbf{S}_u(\omega)$, $\mathbf{S}_{\ddot{u}}(\omega)$ транспортного засобу (рис. 1) розрахована для швидкостей руху v=90,120,160,200 км/год.

Параметри елементів несучої конструкції:

– довжина 1,4 м; ширина 0,75 м; товщина $6\cdot10^{-3}$ м;

– густина матеріалу $2{,}7\cdot10^{3}$ кг/м^3;

– модуль пружності матеріалу несучого шару $6{,}71\cdot10^{10}\cdot(1+i\cdot0{,}025)$ Па.

Параметри накладок з в'язкопружного п'єзокомпозиційного матеріалу на основі PVDF і ЦТСтБС-2:

– довжина накладки 0,2 м; ширина $20\cdot10^{-3}$ м; товщина $0{,}25\cdot10^{-3}$ м;

– густина матеріалу $1{,}75\cdot10^{3}$ кг/м^3;

– дійсні й уявні компоненти матриці пружних сталих п'єзоелектричного матеріалу:

$C_{11}=15{,}7\cdot10^{9}\cdot(1+i\cdot0{,}064)$ Па, $C_{31}=9{,}30\cdot10^{9}\cdot(1+i\cdot0{,}098)$ Па,

$C_{33}=13{,}6\cdot10^{9}\cdot(1+i\cdot0{,}069)$ Па, $C_{55}=2{,}52\cdot10^{9}\cdot(1+i\cdot0{,}014)$ Па;

– п'єзоелектричні сталі: $e_{31}=-1{,}0\cdot\left(1-i\cdot8{,}3\cdot10^{-3}\right)$ Кл/м^2, $e_{33}=1{,}5$ Кл/м^2,

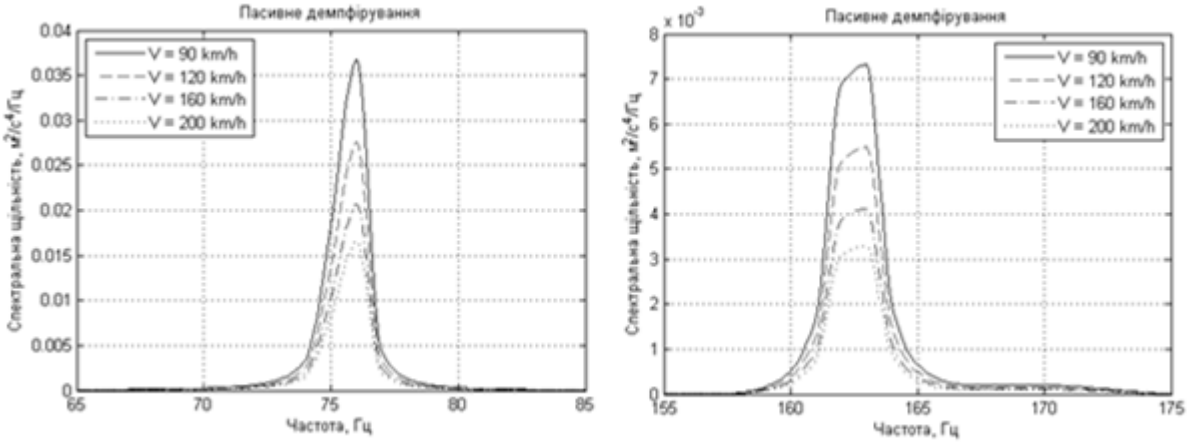
$e_{15}=1{,}13\cdot\left(1-i\cdot2{,}1\cdot10^{-3}\right)$ Кл/м^2;

– компоненти матриці діелектричних сталих: $k_{11}/k_0=12{,}7\cdot\left(1-i\cdot4{,}7\cdot10^{-3}\right)$,

$k_{11}/k_0=11{,}8\cdot\left(1-i\cdot1{,}2\cdot10^{-3}\right)$, $k_0=8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м.

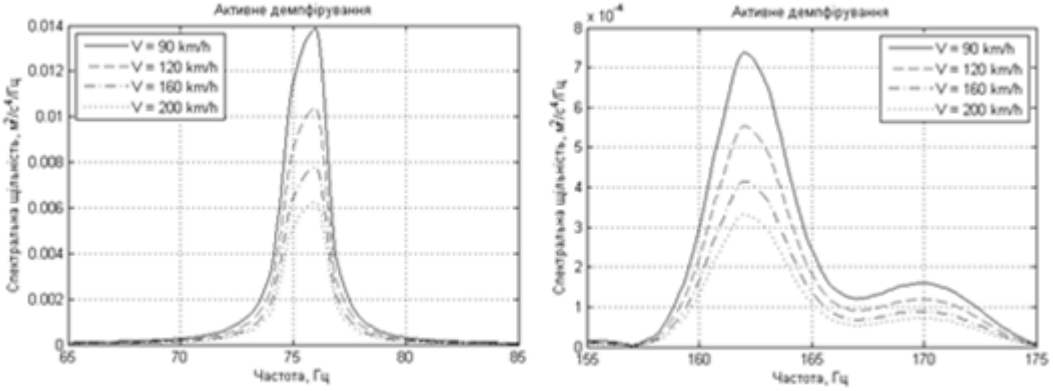
Параметри швидкого перетворення Фур'є: кількість точок $N=2^{12}$ на інтервалі часу $T=10$ с.

Результати визначення спектральної щільності потужності реакції транспортного засобу з активними та пасивними накладками, на який послідовно діють випадкові навантаження для певних швидкостей руху, зображені на рис. 3.



а

Рис. 3. Спектральна щільність потужності коливань конструкції без (а) та з (б) активним демпфіруванням для різних швидкостей руху транспортного засобу



б

Рис. 3. Закінчення (див. також с. 68)

Результати визначення числових характеристик відгуку конструкції (4) для певних моментів часу показано в табл.

Таблиця

Числові характеристики реалізації випадкового процесу в певні моменти часу

Числові характеристики випадкового процесу	**Режим роботи п'єзоелектричних елементів в елементах конструкції**			**Момент часу, с**
	Пасивний	**Активний**	**Елементи не підключені**	
Математичне очікування переміщень $m_u\left\langle \mathbf{S}_u(\omega)\right\rangle$	7,4270e-08	7,4282e-08	1,7589e-06	0,049
	9,3763e-04	7,5713e-04	3,9741e-05	1,23
	9,3095e-05	7,2904e-05	0,0012	4,98
	7,5743e-07	7,4220e-07	7,2273e-07	10
Середнє квадратичне відхилення переміщень $\sigma_u = \sqrt{\mathbf{S}_u(\omega)}$	2,7253e-04	2,7255e-04	0,0013	0,049
	0,0306	0,0275	0,0063	1,23
	0,0096	0,0085	0,0353	4,98
	8,7030e-04	8,6151e-04	8,5014e-04	10

Для випадку активного демпфірування ефективність гасіння коливань залежить від вибору оптимального значення параметра керування p (рис. 4). Додаткове введення в конструкцію електричних контурів (шунтів) може змінити дисипативні властивості конструкції [12].

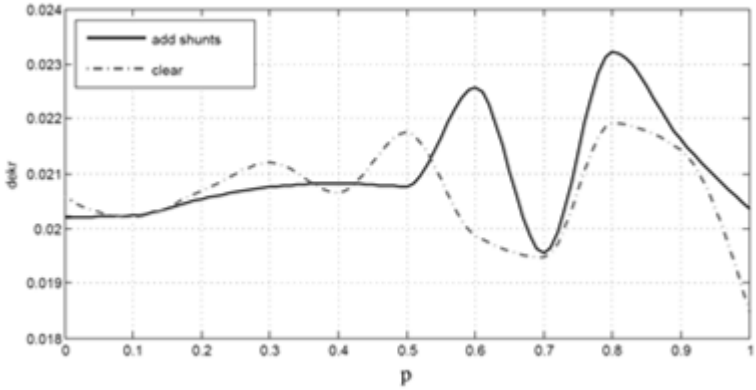


Рис. 4. Вплив величини параметра керування p на декремент (dekr) коливань конструкції з активним керуванням (clear) і конструкції з додатковим розсіянням енергії у шунтах (add shunts)

Аналіз частотно-залежного розсіяння енергії проведено за допомогою варіанта методу простої ітерації, запропонованого в роботі [10]:

$$dekr = 2\pi\frac{\mathrm{Im}(\omega)}{\mathrm{Re}(\omega)},\ \omega = eigenvals\left(\mathbf{M}^{-1}\cdot\mathbf{KE}\right),$$

де ω – власні частоти коливань конструкції; **KE** – глобальна матриця електромеханічної «жорсткості»:

$$\mathbf{KE} = \tilde{\mathbf{K}}_{uu} + \left(\tilde{\mathbf{K}}_{u\varphi}^{sen} - \tilde{p}\tilde{\mathbf{K}}_{u\varphi}^{act}\right)\left(\mathbf{Q}\left(i\omega\right) + \tilde{\mathbf{K}}_{\varphi\varphi}^{sen}\right)^{-1}\tilde{\mathbf{K}}_{\varphi u}^{sen}.$$

Як бачимо з вищенаведених результатів моделювання, забезпечення певного рівня розсіяння енергії в матеріалі на етапі проектування дозволяє зменшити імовірність виникнення максимальних амплітуд коливань при випадковому навантаженні у вигляді дискретного білого шуму. В розглянутому прикладі активне гасіння коливань дозволяє зменшити пікові значення спектральної щільності потужності системи. Для більш ефективного використання активних методів гасіння коливань потрібно, аналізуючи можливе навантаження, підлаштовувати необхідну для компенсації переміщень конструкції різницю потенціалів на електродах актуаторів (рис. 4), що при невідомих збуреннях конструкцій видається неможливим. У таких умовах невизначеності зміна різниці потенціалів може проводитись за допомогою застосування адаптивних систем штучного інтелекту.

Висновки і пропозиції. Нестаціонарні коливання електров'язкопружних конструкцій із частотно-залежним розсіянням енергії при дії випадкового кінематичного збудження можуть бути проаналізовані за допомогою методики скінченно-елементного моделювання в частотному просторі інтегральних перетворень Фур'є.

У разі використання сенсорів і актуаторів, які працюють у протифазі, можна досягти зменшення амплітуди коливань цього типу конструкції. Застосування методики активного демпфірування дозволяє змінювати декремент коливань конструкції при випадкових кінематичних навантаженнях за допомогою актуаторів, регулюючи коефіцієнт підсилення потенціалів сенсора.

Значення імовірних переміщень і прискорень конструкції зменшуються при сумісному використанні сенсорів і актуаторів. Проте в умовах нестачі інформації про зовнішні впливи, ефективним інструментом для зменшення амплітуди коливань може стати застосування адаптивних методів керування конструкцією.

Список використаних джерел

1. *Bolotin V. V.* Random Vibrations of Elastic Systems / V. V. Bolotin. – Springer-science+Busines Media, B.V., 1984. – 468 p.

2. *Thanhtam H.* Development of a Biomimetic Quadruped Robot / Ho Thanhtam, Choi Sunghac, Lee Sangyoon // Journal of Bionic Engineering 4. – 2007. – P. 193–199.

3. *Papoulis A.* Probability, Random Variables, and Stochastic Processes / A. Papoulis. – McGraw-Hill, 1991. – 665 p.

4. *Сергиенко А. Б.* Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие / А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2011. – 604 с.

5. *Documentation* MatLAB. Fourier Analysis and Filtering [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html.

6. *Halfpenny A.* Dynamic Analysis of Both On and Offshore Wind Turbines in the Frequency Domain: A Dissertation submitted for the degree of PhD in Engineering / Andrew Halfpenny; University of London. – London, 1998. – 288 p.

7. *Шульга Н. А.* Колебания пьезоэлектрических тел / Н. А. Шульга, А. М. Болкисев ; отв. ред. Б. П. Маслов ; АН УССР. Ин-т механики. – К. : Наукова думка, 1990. – 228 с.

8. *Кристенсен Р.* Введение в теорию вязкоупругости / Р. Кристенсен ; пер. с англ. М. И. Рейтмана. – М. : Мир, 1974. – 338 с.

9. *Дубенец В. Г.* Колебания демпфированных композитных конструкций / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – К. : Вища школа, 1995. – Т. 1. – 226 с.

10. *Савченко Е. В.* Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций : монография / Е. В. Савченко. – Нежин : Аспект-Полиграф, 2006. – 232 с.

11. *Lu F.* Symplitic Analysis of Vertical Random Vibration for Coupled Vehicle-Track Systems / F. Lu, D. Kennedy, F. W. Williams, J. H. Lin // Journal of Sound and Vibration, 2008. – P. 236–249.

12. *Dubenets V. H.* Optimization of Multilayered Electro-Viscoelastic Plates / V. H. Dubenets, O. V. Savchenko // Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Engineering science". – Chernihiv : Chernihiv State Technological University, 2013. – № 2 (65). – P. 59–68.

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.75

Е.В. Лаврова, канд. техн. наук
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАПЛАВКИ ПОД ФЛЮСОМ ЛЕНТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПЕРЕНОСОМ ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА

О.В. Лаврова, канд. техн. наук
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КІНЕМАТИЧНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ПІД ФЛЮСОМ СТРІЧКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ З КЕРУЮЧИМ ПЕРЕНЕСЕННЯМ ЕЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛУ

Elena Lavrova, PhD in Technical Sciences
State higher educational institution "Priazovskiy State Technical University", Mariupol, Ukraine

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL KINEMATIC SCHEME OF THE DEVICE FOR SUBMERGED ARC WELDING WITH STRIP ELECTRODE WITH CONTROLLED ELECTRODE METAL TRANSFER

Разработана кинематическая схема и исследован процесс управляемого механического переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом, определена аналитическая зависимость между параметрами движения ленточного электрода как одного из способов управляемого принудительного воздействия на процесс переноса электродного металла.

Ключевые слова: *ленточный электрод, принудительный механический перенос электродного металла, инерционная сила, кинематическая модель устройства, электродуговая наплавка, угол изгиба.*

Розроблено кінематичну схему та досліджено процес керованого механічного перенесення електродного металу при наплавленні під флюсом стрічковим електродом, визначена аналітична залежність між параметрами руху стрічкового електрода як одного із способів керованого примусового впливу на процес переносу електродного металу.

Ключові слова: *стрічковий електрод, примусове механічне перенесення електродного металу, інерційна сила, кінематична модель пристрою, електродугове плавлення, кут вигину.*

Developed kinematical scheme and to investigate the process managed a mechanical transfer of electrode metal in surfacing submerged tape the electrode, the analytic relationship between the motion parameters strip electrode as a way to manage impact of forced-action on the transfer process of the electrode metal.

Key words: *strip electrode, forced mechanical transfer of electrode metal, the inertial force, the kinematics' model of the device, the electric arc overlaying, the angle of the bend.*

Постановка проблемы. Анализ предлагаемых способов управляемого переноса показывает, что одной из причин образования дефектов в наплавленных изделиях является стохастичность процесса переноса электродного металла с торца ленточного электрода на наплавляемую поверхность. Разработка надежных и простых способов, обеспечивающих управляемый процесс переноса капель с ленточного электрода до настоящего времени не имеют приемлемого решения.

Анализ последних достижений и публикаций. Проблеме переноса капель электродного металла при электродуговой сварке и наплавке посвящено большое количество исследований [1–5].

Известен способ дуговой сварки и наплавки плавящимся электродом, осуществляющийся с помощью устройства, содержащего механизм импульсной подачи электродной проволоки со специальным редуктором на основе квазиволнового преобразователя и традиционного роликового узла [1]. Существенным фактором, влияющим на эффективность импульсной подачи в техническом и технологическом аспекте, является придание ускорения капли на торце электрода, формируемое механизмом импульсной подачи и системой подачи в целом.

Однако, несмотря на имеющиеся данные, полученные в ИЭС им. Е.О. Патона и другими исследователями, о преимуществах применения механизмов импульсной подачи

электродной проволоки, они не получили широкого распространения. Причиной этого является недостаточные для длительного периода эксплуатации надежность механизмов, невозможность получения для ряда механизмов импульсов с требуемыми для эффективного массопереноса характеристиками (шагом, частотой, ускорением).

Существующие механизмы импульсной подачи электродной проволоки [2; 3], с регулированием параметров импульсов, как и многие подобные, не применимы для наплавки под флюсом ленточным электродом с принудительным сбросом электродного металла.

Для наплавки под флюсом ленточным электродом важна не только импульсная подача, но и частота колебаний торца ленточного электрода, а также другие факторы, обеспечивающие принудительный сброс металла для равномерного распределения тепловой энергии в сварочной ванне.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Анализ дефектов наплавленных изделий показывает, что одной из причин их образования является стохастичность процесса переноса электродного металла с торца ленточного электрода на наплавляемую поверхность. Разработка надежных и простых способов, обеспечивающих управляемый процесс переноса капель с ленточного электрода, до настоящего времени не имеют приемлемого решения.

Цель статьи. Главная цель этой работы состоит в получении количественных характеристик разработанной кинематической схемы для регулируемого принудительного механического переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом.

Изложение основного материала. Для реализации принудительного переноса электродного металла при наплавке под флюсом ленточным электродом предложено устройство, позволяющее производить регулируемый изгиб ленточного электрода за счет наличия шарнира в приставке (рис. 1). Устройство содержит: вращающиеся подающие ролики *1*; верхние *2* и нижние *3* направляющие; между направляющими установлен эксцентриковый возбудитель колебаний на валу *4*, вращающийся с помощью двигателя; шарнир *5*, с помощью которого регулируется угол изгиба; токоподвод *6*; ленточный электрод *7* для наплавки изделия *8*.

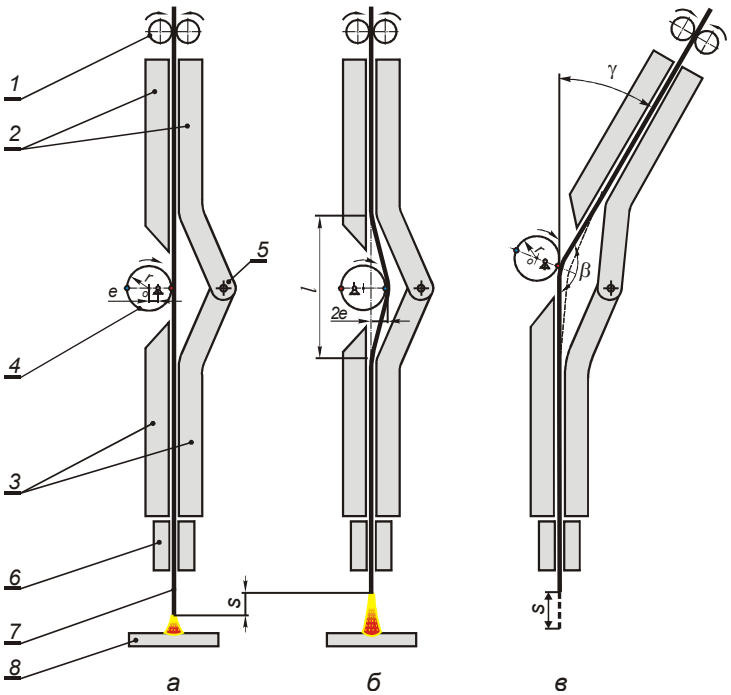


Рис. 1. Схема устройства для принудительного механического переноса электродного металла: а, б – без начального изгиба ленточного электрода; в – с предварительным изгибом на угол β

Устройство функционирует следующим образом: приводятся во вращение подающие ролики *1*, между которыми подается ленточный электрод *7*. В процессе подачи электрода осуществляется его изгиб на угол β с помощью поворота верхних направляющих *2* в шарнире *5* на заданный угол γ ($\beta = 180 - \gamma$). За счет изгиба ленточного электрода в зоне контакта с эксцентриком осуществляется изменение амплитуды колебаний торца ленты *S* при прочих неизменных параметрах устройства и стабильном положении нижних направляющих. Важно также отметить, что получаемые при этом колебания ограничиваются небольшим участком длины ленточного электрода.

Известно, что при дуговой сварке (наплавке) на каплю расплавленного металла действует система сил: $\vec{F}_{ct}$ – сила тяжести, Н; $\vec{F}_{ed}$ – электродинамическая сила, Н; $\vec{F}_{pn}$ – сила поверхностного натяжения, Н; $\vec{F}_r$ – сила реактивного давления паров газов, Н.

При воздействии механических колебаний на торец ленточного электрода появляется новая инерционная сила $\vec{F}_{cu}(t)$, Н, действующая на каплю электродного металла, которая при наплавке под флюсом ленточным электродом зависит от массы капли m_k и ускорения движения торца электрода, меняющегося в процессе наплавки.

$$\vec{F}_{cu}(t) = m_k \cdot \vec{a}(t). \quad (1)$$

Средняя скорость плавления ленточного электрода по всей ширине будет равна скорости подачи электрода. Тогда за одну секунду длина расплавленного участка ленты может быть определена по зависимости $\Delta l = V_{ne} \cdot t$, м, а масса расплавленного металла будет зависеть от поперечного сечением электрода A_e и плотности его материала ρ: $m_e = \Delta l A_e \rho$, кг.

Для получения стабильного процесса переноса расплавленного металла в сварочную ванну необходимо выбрать такие параметры колебательного процесса, чтобы при заданных режимах наплавки обеспечивался сброс капель электродного металла за каждый цикл колебания. Тогда масса сбрасываемой капли будет определяться в зависимости от выбранной кинематической схемы возбуждения колебаний конца ленты (рис. 1), размерных конструктивных параметров устройства и скорости вращения возбудителя колебаний: $m_k = m_e / n_c$ (n_c – скорость вращения эксцентрика, об/с). Очевидно, что при анализе эффективности тех или иных параметров управления процессом массопереноса электродного материала рассматриваемого здесь устройства наибольший интерес вызывает получение максимального ускорения движения торца электрода и, следовательно, максимальной силы отрыва капли.

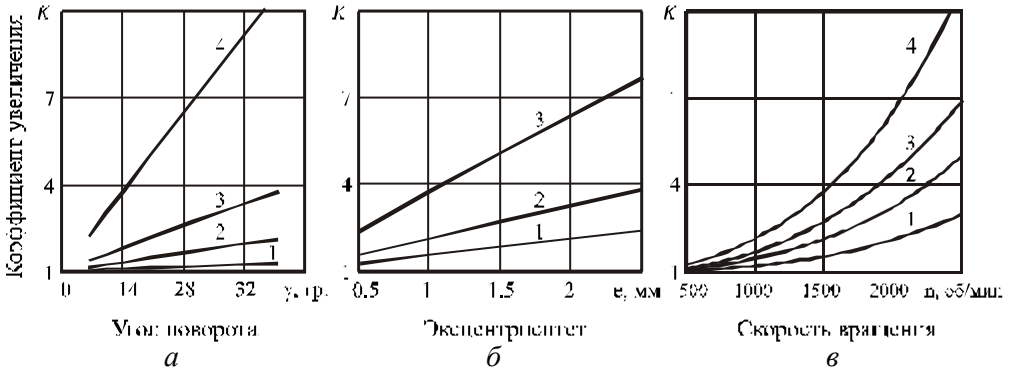
Проектируя равнодействующую всех сил, приложенных к капле, на вертикальную ось (при наплавке в нижнем положении), можно оценить её расчетное значение для двух вариантов наплавки: с учетом действия принудительного механического переноса (R_{yu}) и без него (R_y). Тогда эффективность какого-либо параметра управления процессом массопереноса электродного материала можно оценить коэффициентом увеличения силы отрыва за счет действия инерционной силы

$$K(t) = \frac{\vec{R}_{yu}(t)}{\vec{R}_y(t)} \succ 1. \quad (2)$$

Не рассматривая здесь множество вариантов сочетания различных параметров управления процессом массопереноса с помощью предложенного устройства, приведем результаты расчета максимальной величины коэффициента K в зависимости от трех основных параметров (рис. 2): угла поворота верхних направляющих γ, величины эксцентриситета *e* и скорости вращения эксцентрика *n*.

Расчеты проводились при следующих параметрах: *а* – $l_1 = l_{2,}$=30 мм; e =1,0 мм; n=500, 1000, 1500, 2500 об/мин, графики 1, 2, 3, 4 соответственно; б – $l_1 = l_{2,}$=30 мм; n=1500 об/мин, γ= 10, 20, 50°, графики 1, 2, 3 соответственно; *в* – $l_1 = l_{2,}$=30 мм; e =1,0 мм; γ= 10, 20, 30, 50°, графики 1, 2, 3, 4 соответственно.

Как видно из графиков на рис. 2, посредством регулирования размерных конструктивных параметров предложенного устройства и скорости вращения возбудителя колебаний, можно получить многократное увеличение силы отрыва капель расплавляемого электрода по сравнению с обычными устройствами подачи ленты. За счет этого достигается контролируемая регулярность перехода капель жидкого металла в сварочную ванну, повышение качества наплавленного металла и уменьшение вероятности и появления дефектов типа несплавлений. На основании полученных расчетных результатов можно говорить о целесообразности применения разработанного устройства для наплавки под флюсом ленточным электродом с принудительными механическими колебаниями его торца.



а *б* *в*

Рис. 2. Зависимость коэффициента увеличения силы отрыва капли от различных параметров: а – $l_1 = l_{2,}$=30 мм; e =1,0 мм; n = 500, 1000, 1500, 2500 об/мин, графики 1, 2, 3, 4 соответственно; б – $l_1 = l_{2,}$=30 мм; n = 1500 об/мин, γ = 10, 20, 50°, графики 1, 2, 3 соответственно; в – $l_1 = l_{2,}$=30 мм; e =1,0 мм; γ = 10, 20, 30, 50°, графики 1, 2, 3, 4 соответственно

Таким образом, доказано, что наиболее эффективное управление переносом электродного металла обеспечивает предлагаемая конструкция на основе универсальной схемы, позволяющая использовать в качестве управляющих параметров угол изгиба ленточного электрода 120–140°, размер эксцентриситета 0,5–1,5 мм и частоту вращения эксцентрика 40–60 Гц.

Выводы. На основе математического анализа импульсного переноса разработаны основные закономерности процесса плавления ленточного электрода при использовании механического принудительного переноса, проанализировано влияние параметров устройства подачи электрода на процесс формирования наплавленного слоя.

Список использованных источников

1. *Патон Б. Е.* Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев // Сварочное производство. – 2002. – № 2. – С. 24–31.

2. *Лебедев В. А.* Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 31–37.

3. *Патент* 24440 Україна. МПК В23К 9/12 Спосіб дугового зварювання електродом, що плавиться / Б. І. Носовський, М. Б. Носовський ; ПГТУ – № u 1997 97041923 ; заявл. 22.04.97 ; опубл. 30.10.98, Бюл. № 5.

4. *Патент* 44885 Україна. МПК В23К 9/12 Спосіб широкошарового наплавлення під флюсом стрічковим електродом / О. В. Лаврова, Б. І. Носовський ; ПГТУ – № u 2008 10823 ; заявл. 01.09.2008 ; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20.

5. *Носовский Б. И.* Разработка методики выбора параметров наплавки ленточным электродом с принудительным механическим переносом жидкого металла / Б. И. Носовский, Е. В. Лаврова // Автоматическая сварка. – 2011. – № 3. – С. 30–33.

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.738:004.775

В.В. Казимир, д-р техн. наук
М.В. Харченко, асистент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

УПРАВЛЯЮЧІ ВЕБ-ПОРТАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

В.В. Казимир, д-р техн. наук
М.В. Харченко, ассистент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

УПРАВЛЯЮЩИЕ ВЕБ-ПОРТАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

Volodymyr Kazymyr, Doctor of Technical Sciences
Maryna Kharchenko, assistant
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

MANAGING WEB-PORTALS AND THEIR PROPERTIES

Запропоновано нову концепцію побудови інформаційних веб-систем – управляючий веб-портал. Наведено класифікацію веб-порталів. Розглядаються функціональні особливості веб-порталів. Проводиться їх порівняння із функціями і властивостями систем управління бізнес-процесами. Дано визначення управляючого веб-порталу, роботою якого запропоновано керувати на основі вбудованих ієрархічних моделей бізнес-процесів. Сформульовані вимоги до управляючого веб-порталу у вигляді переліку функцій та властивостей, що їх забезпечують.

Ключові слова: *веб-портал, бізнес-процес, управління, BPM, модель, якість.*

Предложена новая концепция построения информационных веб-систем – управляющий веб-портал. Приведена классификация веб-порталов. Рассмотрены функциональные особенности веб-порталов. Проведено их сравнение с функциями и свойствами систем управления бизнес-процессами. Дано определение управляющего веб-портала, работой которого предложено управлять с помощью встроенных иерархических моделей бизнес-процессов. Сформулированы требования к управляющему веб-порталу в виде набора функций и свойств, которые их обеспечивают.

Ключевые слова: *веб-портал, бизнес-процесс, управление, BPM, модель, качество.*

A new concept of development information web-systems - managing web-portal is proposed in the article. Classification of web-portals is given in the article. Functional features of web-portals are considered and compared with functions and properties of business processes management system. Article gives the definition of managing web-portal, whose work is proposed to manage using the embedded hierarchical models of business processes. The requirements for managing web-portal are formed as a list of functions and properties that support them.

Key words: *web-portal, business process, management, BPM, model, quality.*

Постановка проблеми. Останнім часом дуже популярним стало використання інформаційних та мережних технологій для управління бізнес-процесами [1] компаній та організацій, що формують їх систему управління якістю [2]. Так, для автоматизації своєї діяльності і підтримки систем управління якістю компанії використовують системи управління бізнес-процесами (BPM-системи – Business Process Management System) [3], реалізовані у вигляді корпоративних застосувань. Стандартною практикою для таких систем є використання «тонких» клієнтських місць (наприклад, на основі веб-браузерів), які не треба інсталювати і які підтримують централізоване адміністрування.

Всі BPM-системи, що нині пропонуються, незалежно від платформи реалізації, найкращим чином підходять для автоматизації процесів, орієнтованих на задоволення потреб клієнта, і наскрізних бізнес-процесів, коли в реалізації процесу задіяні співробітники різних функціональних підрозділів компанії [1]. Такий підхід ефективний, коли клієнт не бере участі у виконання процесу. Однак існує велика кількість бізнес-процесів, в яких клієнт виступає безпосереднім виконавцем та ініціатором. Це стосується, передусім, процесів надання адміністративних послуг фізичним або юридичним особам, так звана G2B (government-to-business), B2G (business-to-government), G2C (government-to-customer), C2G (customer-to- government) і G2G (government-to-government) взаємодія [4].

До того ж клієнти можуть територіально знаходитись будь-де, і в такій ситуації можливостей корпоративних систем управління бізнес-процесами стає недостатньо. Виникає необхідність у розробленні нових програмних засобів, що підтримують функції наявних BPM-систем і реалізують функцію участі клієнта в реалізації бізнес-процесу. Одним із можливих шляхів вирішення поставленої задачі є застосування веб-технологій, а саме веб-порталів, для реалізації необхідних управляючих функцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання автоматизації й управління бізнес-процесами розглядається у працях Б. Старінського, Л.В. Кузнецової, А.В. Ніколаєва, О.І. Максимова, А.Є. Глухова [5] та ін. Однак, незважаючи на свою актуальність, рівень дослідження питання використання веб-порталів в управлінні бізнес-процесами, що виникають при взаємодії територіально розосереджених виконавців, недостатній.

Мета статті. Головною метою цієї статті є аналіз можливостей використання веб-порталів для підтримки й управління бізнес-процесами із зовнішніми виконавцями та визначення основних характеристик і вимог до створення такого роду програмних засобів.

Виклад основного матеріалу. Веб-портали – це відносно новий клас веб-застосувань, що не має чіткого визначення. В загальному випадку під веб-порталом можна розуміти програмне застосування в комп'ютерній мережі, що забезпечує персоніфікований інтерфейс для пошуку та використання мережних сервісів і інформації залежно від потреб користувача [5]. Розглянемо класифікацію, функції і характеристики веб-порталів та порівняємо їх із функціями і характеристиками BPM-систем.

Класифікація веб-порталів. Виділяють такі критерії класифікації веб-порталів: спосіб реалізації, цільова аудиторія, вирішувані порталом задачі (рис. 1) [6].

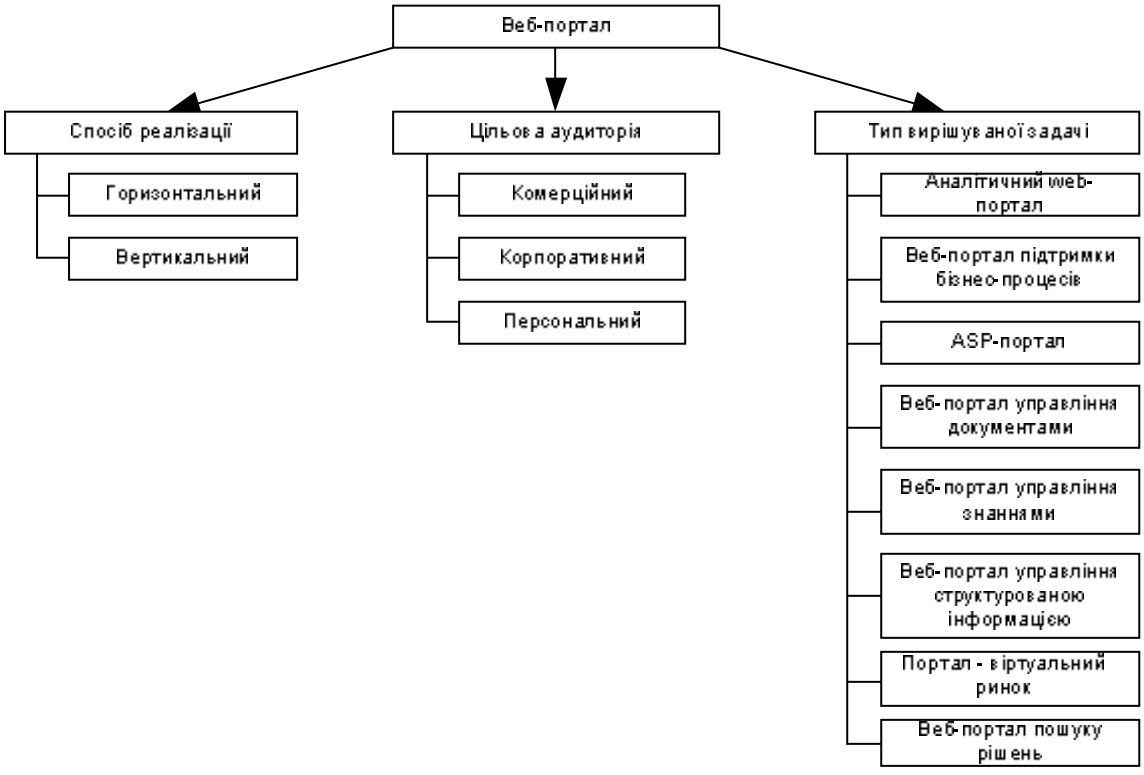


Рис. 1. Класифікація веб-порталів

З погляду реалізації портали можна поділити на горизонтальні і вертикальні. Горизонтальні веб-портали призначені для широкої аудиторії. В мережі Інтернет такі портали називають мегапорталами, оскільки вони надають інформацію (наприклад, погода, новини культури тощо) і функції (пошук, управління електронною поштою і т. ін.), корисні майже всім користувачам.

Вертикальні портали є вузькоспеціалізованими і надають необхідну інформацію та функції переважно вузькому колу користувачів. Прикладом вертикальних веб-порталів може бути веб-портал з продажу авіаквитків, що надає послуги з бронювання, замовлення і доставки квитків, доступ до розкладу рейсів.

За цільовою аудиторією портали поділяються на комерційні, корпоративні та персональні. Комерційні портали забезпечують надання вузьконаправленої інформації певній цільовій аудиторії. Корпоративні портали координують контент у межах відносно вузького кола користувачів, яких об'єднують спільна мета та завдання. Вони призначені для співробітників компанії і відомі як B2E-портали (business-to-employee). Персональні портали забезпечують доставку інформації, відфільтрованої для специфічних потреб конкретних користувачів.

З погляду типу вирішуваної задачі портал може бути орієнтований на вирішення однієї або декількох задач. Найбільш розповсюдженими можна вважати декілька класів порталів, і кожен портал можна віднести до одного або більше класів.

Аналітичні веб-портали дозволяють особам, що приймають рішення, формувати звіти.

Портали підтримки бізнес-процесів реалізують специфічні функції і підтримують специфічні процеси і застосування. Прикладом можуть бути B2B- (business-to- business), B2E- або B2C-портали (business-to-customer).

ASP-портали (Application Service Provider) є власністю компанії і призначені для надання послуг іншим компаніям, тобто є порталами типу B2B. З використанням їх функцій компанії-клієнти можуть отримати в оренду як товари, так і послуги.

Портали управління документами, або системи електронного документообігу, забезпечують процес створення, управління доступом і розповсюдження великих об'ємів документів у комп'ютерних мережах, а також контролюють потоки документів в організації.

Веб-портали управління знаннями забезпечують доставку персоніфікованої інформації з урахуванням конкретної роботи, яку виконує користувач у певний момент часу.

До веб-порталів управління структурованою інформацією можна віднести різні електронні бібліотеки, музичні портали, портали об'яв, на яких інформація структурована за рубриками, категоріями, розділами. Зазвичай, такі портали надають функцію спеціалізованого або розширеного пошуку із зазначенням необхідних критеріїв відбору.

Портали – віртуальні ринки, що пов'язують продавців і покупців, надаючи специфічну інформацію про ринок, товари та послуги.

Веб-портали пошуку рішень призначені для залучення експертів до вирішення проблем. Для цього в порталі ведеться облік користувачів і їх компетенції, що дозволяє виділяти експертів у конкретних галузях знань, знаходити їх і використовувати їх досвід під час вирішення проблеми.

З вищенаписаного можна зробити висновок, що веб-портали за призначенням орієнтовані або на специфіку роботи конкретної компанії (корпоративні портали), або на вирішення конкретної задачі. Щоб розширити логіку їх роботи, необхідно залучати спеціалістів з IT. Зазначений недолік особливо стосується порталів підтримки бізнес-процесів та ASP-порталів, що не містять засобів збільшення кількості підтримуваних бізнес-процесів.

Функції веб-порталів та їх властивості. Серед функцій веб-порталів можна виділити три найбільш розповсюджені, що дозволяють відрізнити веб-портал від веб-сайту:

– інтеграція інформаційних джерел;

– інтеграція застосувань;

– пошук по всіх інформаційних джерелах.

Наведені функції можуть бути згруповані у функціональні модулі (рис. 2). Додатково веб-портал, як правило, підтримує функції безпеки, управління профілями користувачів, оповіщення користувачів.

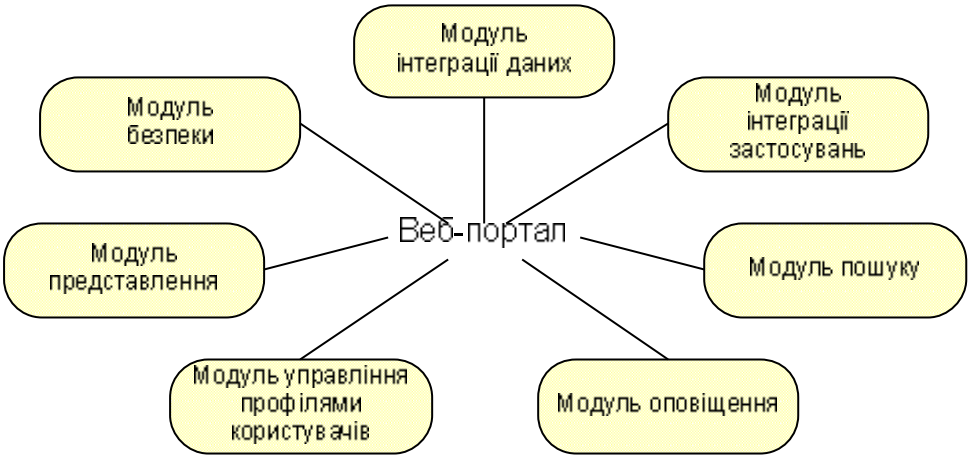


Рис. 2. Функціональні модулі веб-порталу

Модуль інтеграції даних надає засоби організації єдиного інформаційного простору з різнорідних джерел інформації. В його функції входить організація уніфікованого доступу до різних інформаційних джерел – баз даних, сховищ документів та електронної пошти і т. ін.

Модуль інтеграції застосувань вирішує завдання інтеграції в портал різних програмних застосувань, а також забезпечує можливість розширення функціональності веб-порталу за рахунок додавання сервісів. Відмінність між сервісами та застосуваннями полягає в тому, що застосування є окремим розробленим програмним продуктом, а сервіси спеціально розробляються як частина веб-порталу.

Модуль пошуку дозволяє знаходити необхідну користувачу інформацію.

Модуль управління профілями користувачів надає можливість явної або неявної персоніфікації під час взаємодії користувача з веб-порталом. Для цього кожен користувач має свій профіль – опис уподобань та/або інтересів. За явної персоніфікації безпосередньо враховуються уподобання користувача. Наприклад, налаштування зовнішнього вигляду сторінки веб-порталу або вибір необхідної для відображення інформації. Неявна персоніфікація полягає в автоматичному аналізі дій користувача у веб-порталі і виявленні його уподобань. Наприклад, користувачу може бути надана інформація, яку він не шукав, але яка відповідає його інтересам.

Модуль оповіщення використовує push-технології для інформування користувачів про різні події у веб-порталі. Прикладом подій можуть бути публікація нової інформації на певну тематику у веб-порталі, поява нової версії документа, реєстрація нового користувача тощо. Засобами оповіщення можуть бути електронна пошта, RSS-розсилка та ін.

За формування візуального представлення інтерфейсу користувача веб-порталу відповідає модуль представлення. Зазвичай у модулі використовується підхід, що забезпечує можливість об’єднання декількох джерел даних в єдине візуальне представлення.

Модуль безпеки виконує функції ідентифікації користувачів при підключенні до веб-порталу і формування контексту безпеки під час роботи користувача з його функціоналом.

Реалізація кожного функціонального модуля залежить від того, яка інфраструктура веб-порталу використовується. До інфраструктури відносяться: сервер застосувань; засоби зберігання даних та доступу до них; засоби програмування; засоби візуального представлення. Від інфраструктури залежить масштабованість та працездатність веб-порталу. Вона є основою для реалізації всіх інших функцій.

Провідною аналітичною компанією Gartner Group [7] були визначені такі властивості веб-порталів:

– персоналізація, тобто динамічне налаштування зовнішнього вигляду та інформаційного наповнення порталу під потреби та уподобання конкретного користувача;

– управління інформаційним наповненням та його агрегація. Наявність інструментів для створення і редагування інформаційного наповнення веб-порталу, можливість його поєднання для забезпечення найкращої організації інформації, а також наявність засобів для спільної роботи користувачів із даними;

– категоризація інформаційного наповнення – впорядкування даних для зручності навігації;

– пошук й індексування широкого набору інформаційних репозитаріїв – можливість веб-порталу забезпечити доступ та відображення інформації із багатьох гетерогенних джерел даних. Такими джерелами можуть бути реляційні бази даних, системи управління документами, системи електронної пошти, веб-сервіси, канали новин, різні файлові системи або сервери. Важливо, щоб користувачі могли бачити, наприклад, повідомлення електронної пошти разом зі списком новин та іншою важливою інформацією в контексті одного застосування;

– високоефективна розробка застосувань і можливість інтеграції з іншими застосуваннями.

До зазначених характеристик слід додати ще одну – розподіл ресурсів, тобто розділення можливостей веб-порталу на рівні, доступному різним категоріям користувачів.

Наведені функції та характеристики не є вичерпними, тому компанії можуть розширювати запропонований перелік у процесі розроблення своїх веб-порталів.

Функції систем управління бізнес-процесами та їх властивості. Сучасна система управління бізнес-процесами є корпоративною і містить в основі корпоративне програмне застосування, що є єдиним місцем доступу до інформації і послуг для клієнтів, бізнес-партнерів і працівників організації. Для створення систем управління бізнес-процесами використовуються вже готові рішення: IBM BPM, SAP NetWeaver BPM, BizAgi BPM Suite, ELMA BPM і т. ін. Вони орієнтовані на сферу матеріального виробництва й управління торгівельним підприємством (B2B, B2C, B2G взаємодію): містять модулі управління фінансами, персоналом, діяльністю організації щодо створення продукції або послуги.

Корпоративне програмне застосування системи управління бізнес-процесами може бути реалізовано у двох формах:

– звичайний програмний продукт, що містить набір форм і є класичним «настільним» застосуванням;

– веб-застосування (корпоративний веб-портал [8]).

Враховуючи сучасний розвиток інтернет-технологій і мережних засобів взаємодії, доцільним є реалізація системи управління бізнес-процесами у вигляді веб-застосування. Причинами такого вибору є: необхідність підтримки великої кількості територіально розосереджених користувачів (наприклад, у випадку реалізації бізнес-процесів електронного урядування), кросплатформеність (відсутня необхідність реалізовувати різні версії застосування для кожної платформи), мінімальні вимоги до апаратного забезпечення комп'ютерів-клієнтів.

Розглянемо основні функціональні можливості BPM-систем.

Зберігання бізнес-процесів. Система повинна містити єдиний репозиторій процесів з можливістю спільної роботи всіх зацікавлених осіб.

Моделювання бізнес-процесів. Наявність графічного візуального редактора побудови моделей процесів у загальноприйнятій нотації (наприклад, загальноприйнятий стандарт BPMN).

Налаштування бізнес-процесів. Опис детальних правил для бізнес-процесів. Наприклад, алгоритми вибору виконавців для конкретних етапів (задач), перевірка коррект-

ності введених даних, правила взаємодії із зовнішніми системами та ін. Залежно від BPM-системи реалізація цієї функції може бути орієнтована на досвідченого користувача (практично без програмування) або на розробників.

Інтеграція використовуваних у компанії інформаційних систем на рівні бізнес-процесів, що виконуються в BPM-системі. Реалізується за допомогою модулів інтеграції для завантаження інформації, ініціювання необхідних дій (під час виконання конкретних етапів бізнес-процесів) в інших системах компанії: ERP, CRM-системах.

Виконання бізнес-процесів. Реалізовується у вигляді робочого порталу, через який користувачі-виконавці процесів отримують і виконують свої задачі.

Аналіз і формування звітів. Може бути представлена у вигляді системи оперативної та аналітичної звітності, яка формується за даними поточного статусу і результатами виконання бізнес-процесу.

Налаштування BPM-системи. Ця функція дозволяє конфігурувати програмні засоби системи, призначати права доступу, управляти користувачами та ін.

Кожна із зазначених функцій реалізовується у вигляді окремого модуля (рис. 3).

Рис. 3. Функціональні модулі BPM-системи

Наведені функції чітко виражають специфіку предметної сфери використання BPM-систем. Але крім них, система містить і певні допоміжні функції, спільні із функціями веб-порталу. До них відносяться функція безпеки, функція оповіщення і функція пошуку.

Крім підтримки вищезазначених функцій, BPM-система повинна мати такі властивості:

– зручність інтерфейсу користувача;

– можливість зміни виконавця етапу процесу, оперативного втручання у процес і оброблення виключної ситуації;

– можливість управління логікою роботи процесу з робочого місця користувача;

– зручність використання та адміністрування;

– наявність графічних засобів розроблення моделей бізнес-процесів;

– підтримка загальноприйнятих архітектур і стандартів;

– продуктивність та масштабованість;

– здатність обслуговувати чисельні, тривалі та розподілені процеси;

– зрозумілий інтерфейс налаштування і можливість мінімальної участі спеціалістів з IT у впровадженні та підтримці;

– можливість інформування в режимі реального часу про відхилення показників процесу;

– підтримка сервіс-орієнтованої архітектури;

– низька сукупна вартість володіння;

– наявність шаблонів бізнес-процесів, на основі яких можуть бути розроблені нові процеси.

Наведені властивості були запропоновані компанією Gartner Group як критерії оцінювання BPM-систем. Рекомендується їх враховувати під час розроблення ефективної системи управління бізнес-процесами.

Управління бізнес-процесами у веб-порталах. Використання BPM-систем дозволяє досягти багатьох переваг при плануванні і реалізації бізнес-процесів. Вони дають можливість збільшити швидкість виконання процесів, підвищити їх якість і організувати управління з урахуванням показників, що суттєво полегшить аналіз і вдосконалення того чи іншого процесу. Але незважаючи на зазначені переваги, BPM-системи мають недоліки: їх важко пристосувати для реалізації процесів електронного урядування, значні часові витрати на впровадження (від 6 місяців до декількох років), висока ціна, яка залежить від кількості робочих місць (приблизно 100 $ на одне робоче місце). Останній показник переважає всі позитивні властивості, якщо система використовується для підтримки G2B, B2G, G2C, C2G і G2G взаємодії або у державних установах, коли клієнт є учасником процесу, географічно може знаходитись будь-де і неможливо на початковому етапі впровадження BPM-системи точно визначити кількість клієнтів.

Для вирішення зазначеної проблеми пропонується поєднати функції BPM-систем і функції веб-порталів в єдину програмну систему – управляючий веб-портал.

Управляючий веб-портал – це інтернет-орієнтована програмна система, що дозволяє розробляти, управляти та підтримувати функціонування бізнес-процесів організацій будь-якої форми взаємодії, коли клієнт може бути безпосереднім виконавцем процесу. Всі бізнес-процеси в управляючому веб-порталі орієнтовані на надання послуг і представляються у вигляді ієрархічних моделей, які, у свою чергу, управляють роботою такого веб-порталу.

Враховуючи те, що управляючий веб-портал поєднує в собі можливості як систем управління бізнес-процесами, так і властивості, притаманні взагалі веб-порталам, то у загальному вигляді його властивості і функції можуть бути представлені таблицею.

Таблиця

Функції і властивості управляючого веб-порталу

№ з/п	Функції	Властивості
1	2	3
1	Інтеграція інформаційних джерел і застосувань та пошук інформації	Доступ до різних форматів даних
		Масштабованість
		Наявність системи пошуку
		Підтримка сервіс-орієнтованої архітектури та загальноприйнятих стандартів
2	Управління доступом з метою забезпечення інформаційної безпеки	Наявність системи прав доступу за ролями
		Інформаційна безпека
3	Управління профілями користувачів	Наявність систем реєстрації, авторизації/аутентифікації
		Персоналізація
4	Оповіщення та обмін повідомленнями між користувачами в реальному часі	Наявність корпоративної пошти
5	Налаштування управляючого веб-порталу	Відображення організаційної структури компанії
		Зручність використання та адміністрування
6	Управління бізнес-процесами	Зручний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача
		Підтримка вбудованих моделей бізнес-процесів та наявність репозитарію для їх зберігання
		Здатність розроблення нових моделей бізнес-процесів на основі наявних моделей
		Наявність графічних засобів моделювання бізнес-процесів
		Забезпечення інформування в режимі реального часу про відхилення показників процесу
		Здатність обслуговувати чисельні, тривалі та розподілені процеси

Закінчення табл.

1	2	3
7	Аналіз і формування звітів	Використання формального апарату для розрахунків бізнес-показників
		Наявність засобів візуалізації результатів аналізу та прогнозування

Поєднання функціональних можливостей веб-порталів та BPM-систем у концепції управляючого веб-порталу дозволяє вирішити задачу використання веб-технологій для підтримки та управління бізнес-процесами компаній.

Висновки і пропозиції. Розглянуто класифікацію веб-порталів та їх функціональні можливості.

Виконано порівняння функцій веб-порталів із функціями систем управління бізнес-процесами. Встановлено, що сучасна система управління бізнес-процесами являє собою корпоративне програмне застосування, яке може бути виконано у вигляді веб-застосування (веб-порталу). Визначені властивості веб-порталів та BPM-систем.

Запропонована нова концепція побудови інформаційних веб-систем – управляючий веб-портал, яка розширює визначення веб-порталу з урахуванням функції управління бізнес-процесами за допомогою ієрархічних моделей.

Сформовано вимоги до управляючого веб-порталу у вигляді переліку функцій та властивостей, що їх забезпечують.

Список використаних джерел

1. *Репин В.* Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление / В. Репин. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 512 с.

2. *Система* управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT) : ДСТУ ISO 9000:2007. – [Чинний від 2007–09–03]. – К. : Держспоживстандарт України 2008. – 35 с. – (Національний стандарт України).

3. *Коптелев А. К.* Описание процессов с помощью BPM-систем [Электронный ресурс] / А. К. Коптелев. – Режим доступа : http://businessprocess.narod.ru/index36.htm.

4. *Способы* оптимизации бизнес-процессов для автоматизации управления компанией / Л. В. Кузнецова, А. В. Николаев, О. И. Максимов, А. Е. Глухов // Технические науки. Информатика, вычислительная техника. – 2008. – № 3. – С. 73–81.

5. *Технологии* построения интернет-порталов : учеб. пособие [Электронный ресурс] / В. В. Герасимов [и др.]. – Режим доступа : http://ict.edu.ru/ft/005543/279-306.pdf.

6. *Черняк Л.* Корпоративный портал [Электронный ресурс] / Л. Черняк. – Режим доступа : http://www.pcweek.ru/idea/article/detail.php?ID=51690.

7. *Gartner* Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.gartner.com.

8. *Object* Management Group. Business Process Model and Notation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.bpmn.org/.

УДК 004.031.6

В.В. Литвинов, д-р техн. наук
И.В. Богдан, ассистент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В.В. Литвинов, д-р техн. наук
І.В. Богдан, асистент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВЕРИФІКАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Vitaliy Litvinov, Doctor of Technical Sciences
Irina Bogdan, assistant
Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

THE AUTOMATED SYSTEM OF VERIFICATION OF THE OBJECT-ORIENTED SOFTWARE MODELS

Обоснована необходимость создания инструментального средства верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения, которое бы максимально точно выполняло оценку корректности UML-диаграмм. Предложена автоматизированная система верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения, которая позволяет выполнять верификацию каждой из входящих в состав модели UML-диаграммы несколькими методами.

Ключевые слова: *верификация, диаграмма, UML, метод.*

Обґрунтовано необхідність створення інструментального засобу верифікації моделей об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення, який би максимально точно виконував оцінювання коректності UML-діаграм. Запропоновано автоматизовану систему верифікації моделей об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення, яка дозволяє виконувати верифікацію кожної з UML-діаграми, що входить до складу моделі, декількома методами.

Ключові слова: *верифікація, діаграма, UML, метод.*

The necessity of creating an instrumental means of verification of the object-oriented software models that would perform the valuation of the UML-diagrams correctness most accurately is justified. The automated system of verification of the object-oriented software models that allows to verify every model of the UML-diagram that is included into the consist using several ways is offered.

Key words: *verification, chart, UML, method.*

Постановка проблемы. Постоянно возрастающая сложность программного обеспечения приводит к увеличению количества ошибок в нем, а одновременный рост количества и критичности выполняемых им функций влечет рост ущерба от этих ошибок. Потери одной экономики США от некачественного программного обеспечения составляют около 60 миллиардов долларов в год [1]. Для обеспечения корректности и надежности работы программного обеспечения большое значение имеют различные методы верификации, позволяющие выявлять ошибки на ранних этапах разработки программного обеспечения, таких как этап проектирования.

Объектно-ориентированный подход является на данный момент одним из самых популярных при разработке программного обеспечения. Создание объектно-ориентированного программного обеспечения начинается с создания его модели, представляемой чаще всего в виде UML-диаграмм. Именно с верификации UML-диаграмм и начинается создание корректно работающего и надежного программного обеспечения. Однако далеко не всегда существующие на данный момент методы и инструменты [2] верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения позволяют максимально точно оценить корректность UML-диаграмм.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования показали, что большинство существующих на данный момент инструментальных средств верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения является либо проприетарными, либо же незаконченными продуктами, которые не предоставляют исчерпывающей информации относительно корректности UML-диаграмм.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Проанализировав существующие системы верификации объектно-ориентированного программного обеспечения и его моделей, можно сделать вывод о том, что разрабатываемый инструмент верификации программного обеспечения должен позволять:

– максимально точно оценивать корректность модели;

– сводить к минимуму количество ошибок на этапе разработки.

Цель статьи. Главной целью данной статьи является разработка инструментального средства для верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения, которое бы выполняло оценку корректности UML-диаграмм различными методами и максимально точно.

Изложение основного материала. Прежде чем приступать к разработке системы, необходимо выделить основные функциональные возможности разрабатываемой системы. Общая диаграмма вариантов использования представлена на рис. 1.

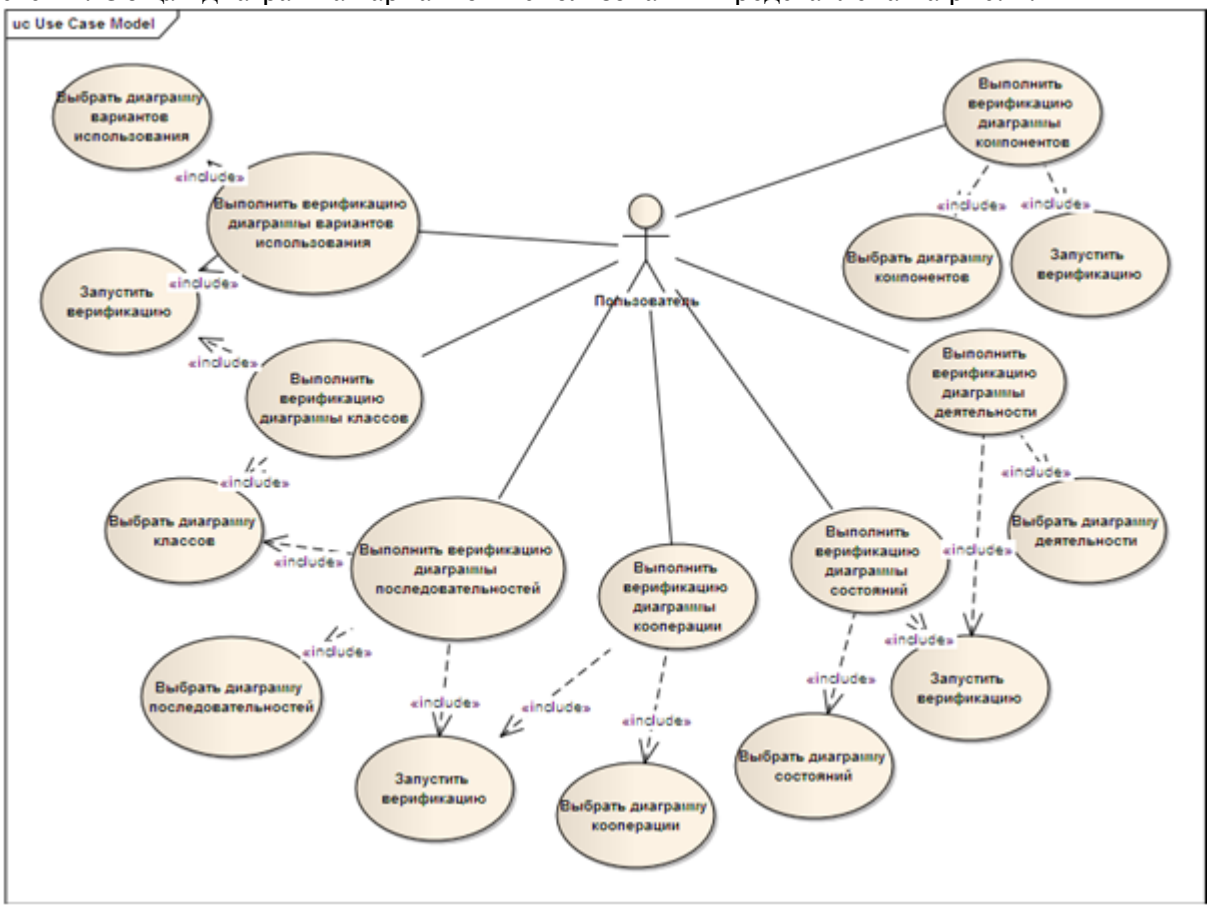


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования системы

Любой пользователь системы может выполнить верификацию диаграммы вариантов использования, диаграммы классов, диаграммы последовательностей, диаграммы кооперации, диаграммы состояний, диаграммы деятельности и диаграммы компонентов. Для этого ему необходимо выбрать соответствующую диаграмму и запустить непосредственную верификацию. Исключение составляет диаграммы последовательностей, так как для ее верификации необходимо выбрать не только диаграмму последовательности, но и соответствующую ей диаграмму классов, которая обязательно должна пройти верификацию ранее.

Разработка архитектуры системы. На рис. 2 приведена архитектура инструментального средства верификации, которое позволяет оценивать корректность UML-диаграмм.

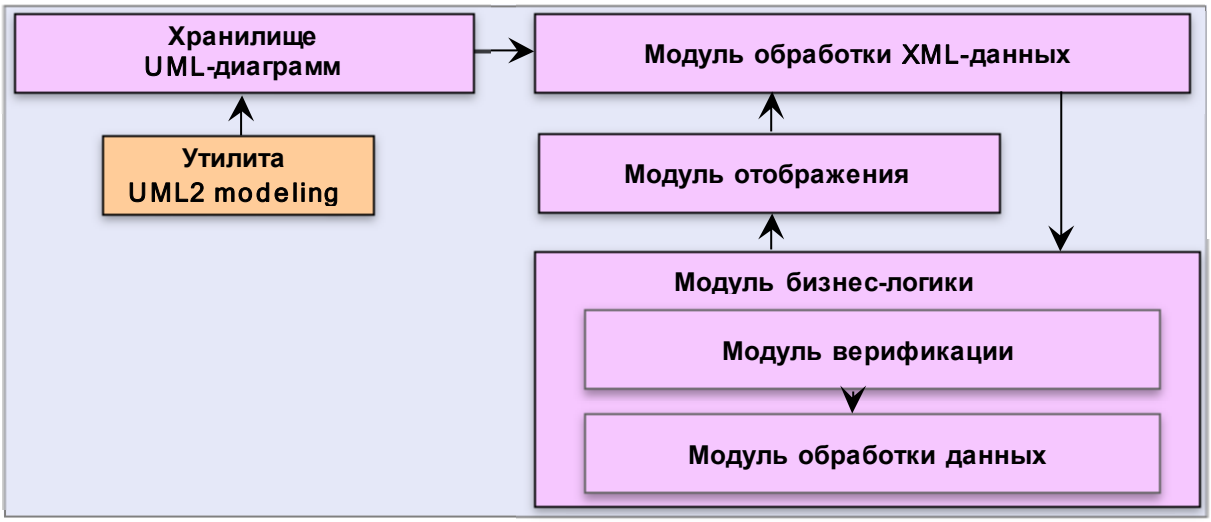


Рис. 2. Архитектура разрабатываемой системы

Так как для создания приложения необходима была утилита, которая бы являлась открытой и имела возможность создания максимального количества описанных в стандарте UML2-диаграмм, то была выбрана утилита uml2 modelingtools, которая является бесплатной, обеспечивает создание базовых диаграмм, а также интегрируется с открытой средой разработки Eclipse. Поскольку это Java-приложение, оно работает на любой платформе, которая поддерживает Java (начиная с Java 1.5).

Таким образом, разрабатываемая автоматизированная система верификации UML-диаграмм состоит из четырех основных модулей, имеющих в своем составе подмодули, которые взаимодействуя между собой и утилитой uml2 modelingtools, обеспечивают выполнение необходимых функций для эффективной оценки корректности UML-диаграмм. К данным модулям относятся:

– модуль обработки XML данных;

– модуль бизнес-логики, состоящий из модуля верификации и модуля обработки данных;

– хранилище UML-диаграмм;

– модуль отображения.

Ниже представлено описание модулей разрабатываемой системы.

Модуль обработки XML-данных. При создании диаграммы с помощью выбранной утилиты появляются два файла: непосредственно сама диаграмма, а также файл *.uml, в котором диаграмма представляется в виде XML-файла. Именно этот файл используется далее для парсинга диаграммы, так как формат XML является одним из простейших и существенно упрощает работу разработчика.

После получения нужных диаграмм в формате XML, данные XML обрабатываются и представляются в виде java-объектов. Получение этих объектов происходит при помощи парсеров с использованием библиотеки dom4j, которая позволяет парсить DOM-дерево для Java.

Парсер диаграммы вариантов использования позволяет получить информацию об актерах и названиях, связанных с ними вариантов использования. Парсер диаграммы классов позволяет получить названия классов, их идентификаторы, названия методов и атрибутов. Что касается парсера диаграммы последовательности, он позволяет получить линии жизни, сообщения, их идентификаторы, фрагменты, показывающие процесс передачи сообщений и их последовательность.

Модуль бизнес-логики. В модуле бизнес-логики, который состоит из модуля верификации и модуля обработки данных, происходит непосредственная оценка корректности поступающих в него диаграмм.

Модуль верификации. В разрабатываемой автоматизированной системе верификации предполагается комплексное использование всех существующих и предложенных разработчиками подходов и методов верификации UML-диаграмм.

Для верификации диаграммы вариантов использования важное значение имеет тот факт, что случаи использования, отображенные на ней, не являются представлениями программного обеспечения. Они представляют требования, которым должно соответствовать программное обеспечение. Случаи использования чаще всего формулируются на естественном языке, поэтому и их верификация практически сводится к проверке синтаксиса. Так, поскольку вариант использования описывает процесс или активность, то согласно стандарту UML 2 [3] каждый случай использования на диаграмме вариантов использования должен быть описан в виде глагола. Кроме того, каждый вариант использования должен относиться как минимум к одному актеру.

Диаграмма классов является одной из основных в модели объектно-ориентированного программного обеспечения, поэтому ее верификация будет выполняться одновременно несколькими методами, детально каждый из которых описан в статье [4].

Одним из наиболее простых подходов к верификации диаграммы классов является подход, основанный на построении драйвера. Данный подход позволяет формально оценить правильность создания диаграммы классов и выявить наиболее характерные ошибки.

Верификация классов из диаграммы классов чаще всего выполняется путем разработки драйвера, который создает экземпляры каждого класса и окружает эти классы соответствующей средой. Таким образом, становится возможным выполнение драйвера. Драйвер посылает одно или большее количество сообщений экземпляру класса в соответствии со спецификацией тестового случая, затем проверяет исход этих сообщений на основании значений ответа, изменения экземпляра и (или) один или большее число параметров сообщения. В обязанности драйвера чаще всего входит удаление любого созданного им экземпляра в том случае, если в языке программирования, таком как C++, имеет место управляемое программистом распределение памяти.

Если для конкретного класса характерны статические элементы данных и (или) операции, то для них также необходимо выполнять верификацию. Такие элементы данных и методы принадлежат самому классу, но не каждому экземпляру этого класса. Класс можно рассматривать как объект. Например, в Java – это экземпляр класса Class.

Если поведение экземпляров класса базируется на значениях атрибутов уровня класса, то все случаи, предназначенные для верификации этих атрибутов уровня класса, должны рассматриваться как расширение состояний этих экземпляров.

Если между двумя и более классами на диаграмме классов присутствует связь «наследование» (обобщение), то драйверу необходимо проверить отсутствие множественного наследования для языка Java, а также отсутствие двунаправленного наследования, при котором каждый из двух классов является и родительским, и дочерним одновременно для всех объектно-ориентированных языков программирования.

Если между классом и интерфейсом на диаграмме классов присутствует связь «реализация», то драйверу необходимо проверить, реализует ли класс все те методы, сигнатуры которых указаны в интерфейсе.

Если в классе присутствует хотя бы один абстрактный метод, то драйверу необходимо проверить, чтобы и класс был абстрактным.

Еще одним подходом к верификации диаграммы классов является метод шаблонов. Данный метод предложила в 2004 году Мира Балабан [5]. Понятие шаблона в данном подходе отличается от хорошо известного и знакомого понятия шаблона проектирования, который представляет собой формализованное описание часто встречающейся задачи проектирования, удачное решение данной задачи, а также рекомендации по применению этого решения в различных ситуациях. Шаблон согласно методу Мира Балабан, напротив, является примером ошибок при построении диаграммы классов.

Mira Balaban предложила несколько шаблонов.

Один из самых популярных шаблонов носит название Цикл множественной иерархии (Multiplicity Hierarchy Cycle).

Согласно данному шаблону, если между двумя классами имеется связь «наследование» (обобщение), которая означает наличие между ними отношения один-к-одному или же несколько дочерних классов к одному родительскому классу, то и любая другая связь между данными классами также должна указывать на наличие отношения один-к-одному или же несколько дочерних классов к одному родительскому классу.

Подразновидностью шаблона Цикл множественной иерархии является шаблон Взаимодействие циклов множественной иерархии (Interaction of multiplicity and inter-association hierarchy constraints).

Согласно данному шаблону, если между двумя классами имеется связь «наследование» (обобщение), которая означает наличие между ними отношения один-к-одному или же несколько дочерних классов к одному родительскому классу, и каждый из них ассоциативно связан с третьим классом, то данные связи должны указывать на наличие одинаковых отношений.

Не менее популярный и часто встречаемый шаблон носит название Простой множественный цикл (Pure Multiplicity Cycle).

Согласно данному шаблону, если между двумя классами имеется несколько ассоциативных связей и каждая связь имеет свое отношение, то все отношения со стороны одного и того же класса должны либо быть равными, либо же включать друг друга.

Еще один подход к верификации диаграммы классов основан на построении идентификационного графа. Разработкой данного метода в период с 1990 по 2001 года занимались американские ученые Hartmann, Lenzerini, Nobili и Thalheim [6].

Суть данного метода состоит в построении идентификационного графа, представляющего собой ориентированный граф. Узлами данного графа являются классы, а также ассоциативные связи между ними, а дуги связывают ассоциации с теми классами, между которыми на диаграмме классов и указаны соответствующие ассоциативные связи. В качестве весов дуг используются отношения, которыми ассоциативно связаны классы. Как и в обычном графе, в идентификационном графе вес пути вычисляется как произведение весов всех дуг, входящих в состав данного пути.

Основным предназначением идентификационного графа является определение причины нарушения конечной выполнимости диаграммы классов. Также как и метод шаблонов, данный метод позволяет выявить противоречивые связи – так называемые критические циклы.

Еще один подход к верификации диаграммы классов основан на представлении класса в качестве множества. Данный метод был предложен Calvanese и Lenzerini [7] и позволяет оценить корректность, прежде всего, иерархий классов.

Согласно данному методу каждый класс, входящий в состав иерархии, представляется в виде множества. Далее создается система неравенств, в которую включаются все возможные неравенства и равенства, если такие имеются, между классами-множествами. Затем необходимо решить систему неравенств и если результатом станет не пустое подмножество, то данная иерархия классов построена корректно, если же пустое множество – иерархия классов не корректна.

Не менее значимой в рамках модели объектно-ориентированного программного обеспечения является и диаграмма последовательности, верификация которой также будет выполняться несколькими методами, детально каждый из которых описан в статье [8].

Одним из наиболее простых является подход, связанный с построением драйвера. Данный подход позволяет формально оценить правильность создания диаграммы последовательности и выявить наиболее характерные ошибки.

Так как некоторые объекты на диаграмме последовательностей будут существовать постоянно, а некоторые временно (только в период выполнения ими требуемых дей-

ствий), то, прежде всего, следует убедиться в том, что уничтожение или же создание объектов, которые создаются на время выполнения своих действий, происходит корректно и для них предусмотрены явные сообщения.

Далее следует выполнять непосредственную верификацию взаимодействия между объектами. Основное внимание во время верификации взаимодействий в условиях контактного подхода уделяется проверке, выполнены ли объектом-отправителем предусловия методов получающего объекта. Верификация не проходит в том случае, если нарушаются эти предусловия. Смысл подобной проверки заключается в том, чтоб установить, выполняет ли объект-отправитель проверку предусловий объекта-получателя, прежде чем отправлять заранее неприемлемое сообщение. Одновременно с этим проверяется, корректно ли объект-отправитель прекращает свою деятельность, возможно, генерируя при этом исключение.

Верификацию диаграмм последовательностей также можно выполнять методом протоколов [9]. По мере того, как некоторый объект вступает во взаимодействие с другими объектами, увеличивается количество сообщений, которые он получает. Все эти сообщения упорядочиваются в определенную последовательность. Верификация по протоколу проверяет реализацию на соответствие этой последовательности. Различные протоколы, в которых принимает участие тот или иной объект, могут быть логически выведены из пред- и постусловий, регламентирующих выполнение отдельных операций, объявленных в классе этого объекта.

Идентифицирующая последовательность вызовов методов, в которую объединяются методы, чьи постусловия удовлетворяют предусловиям следующего метода, образуют протокол. Такие последовательности обнаруживаются на диаграмме классов путем анализа методов каждого конкретного класса. При данном подходе каждый отдельный протокол содержит методы отдельного класса.

Еще один подход к верификации диаграммы последовательностей основан на представлении диаграммы последовательностей в качестве абстрактного цифрового автомата.

Абстрактная теория автоматов, отвлекаясь от структуры автомата и не интересуясь способом его построения, изучает поведение автомата относительно внешней среды. Абстрактный цифровой автомат А определяется совокупностью из пяти объектов {X, S, Y, φ, λ}, где X = $\{x_i\}$, i$\in \overline{1,m}$ – множество входных сигналов автомата А (входной алфавит автомата А); S = $\{s_j\}$, j$\in \overline{1,n}$ – множество состояний автомата А (алфавит состояний автомата А); Y = $\{y_k\}$, k$\in \overline{1,l}$ – множество выходных сигналов автомата А (выходной алфавит автомата А); φ – функция переходов автомата А, задающая отображение (X × S)→ S, т. е. ставящая в соответствие любой паре элементов декартового произведения множеств (X × S) элемент множества S; λ – функция выходов автомата А, задающая либо отображение (X × S)→ Y, либо отображение S→ Y [10].

В данном случае один автомат описывает последовательность взаимодействия объектов на одной диаграмме последовательности, где под состоянием подразумевается совокупность состояний всех объектов, присутствующих на данной диаграмме. В зависимости от того, участвует ли тот или иной объект в определенный момент времени во взаимодействии определяется его активность или пассивность (1 или 0).

Таким образом, множество состояний автомата S представляет собой множество из совокупностей состояний каждого объекта, находящегося на диаграмме последовательностей, представленных в двоичной системе. Как множество входных, так и множество выходных сигналов автомата X и Y соответственно составляет множество сообщений на диаграмме последовательности, которые делают объект активным или же пассивным.

Верификацию диаграммы кооперации так же, как и верификацию диаграммы последовательностей, можно выполнять методом протоколов, метод тестового драйвера и метод, основанный на построении абстрактного цифрового автомата, для данной диаграммы не применимы, поскольку учитывают временной аспект.

Каждая диаграмма состояний представляет некоторый автомат, который описывает поведение отдельного объекта в форме последовательности состояний, которые охватывают все этапы его жизненного цикла, начиная от создания объекта и заканчивая его уничтожением. Таким образом, верификация диаграммы состояний происходит путем проверки условий, вытекающих с теории автоматов и специальной семантики языка UML, которые описаны в статье [11].

Верификацию диаграммы компонентов можно выполнять исключительно путем проверки связей между вышеперечисленными видами компонентов:

– компоненты со стереотипом «table» не могут быть непосредственно связаны с какими-либо компонентами, только через компонент со стереотипом «DB»;

– компоненты-рабочие продукты не могут быть непосредственно связаны с компонентами со стереотипом «DB», только через компоненты исполнения;

– компоненты развертывания не могут быть непосредственно связаны с компонентами со стереотипом «DB».

Поскольку конкретная реализация логического представления модели разрабатываемого программного обеспечения зависит от используемого программного инструментария, то более детальная верификация диаграммы компонентов невозможна.

Так как на диаграмме развертывания отображаются физически существующие элементы, распределения компонентов системы и физические связи между узлами, которые могут быть произвольными, то и верификация данной диаграммы невозможна.

Таким образом, модуль верификации получает от модуля обработки XML-данных информацию из диаграмм и обрабатывает ее при помощи методов верификации, а затем передает результаты работы методов в модуль обработки данных.

Модуль обработки данных. В модуле обработки данных происходит непосредственная идентификация ошибок и получение результата, который далее при помощи модуля отображения представляется в удобном и понятном для пользователя виде.

Выводы и предложения. В статье описана архитектура автоматизированной системы верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения. Данная система не только является кроссплатформенной и свободно распространяемой, но также и позволяет выполнять верификацию основных видов UML-диаграмм одновременно несколькими различными методами и получать более точную информацию о их корректности.

Список использованных источников

1. *The Economic* Impacts of Inadequate Infrastructure for Software Testing. NIST Report, May 2002.

2. *Литвинов В. В.* Инструментальные средства верификации моделей программного обеспечения / В. В. Литвинов, И. В. Богдан, К. С. Сливко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – № 2. – С. 120–125.

3. *Стандарт ЮМЛ2* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.omg.org/spec/UML/2.5/Beta2/.

4. *Литвинов В. В.* Формальная верификация диаграммы классов / В. В. Литвинов, И. В. Богдан // Математичні машини і системи. – 2013. – № 2. – С. 41–47.

5. *Balaban M.* Management of Correctness Problems in UML Class Diagrams – Towards a Pattern-based Approach / Balaban M., Maraee A., Stur A. – Beer Sheva : Department of Computer Science, Ben-Gurion University of the Negev, 2002. – 33 p.

6. *Thalheim, B.* Fundamentals of Entity-Relationship Modeling / Hartmann, Lenzerini, Nobili, Thalheim // Annals Mathematics and Artificial Intelligence. – 1993. – № 7. – P. 197–256.

7. *Calvanese, D.*, Lenzerini, M. On the Interaction between ISA and Cardinality Constraints. In Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Data Engineering, Houston, Texas, USA. IEEE Computer Society. – Washington, DC, USA, 1994. – P. 204–213.

8. *Formal* verification of the sequence diagram / Vitaliy Lytvynov, Irina Bogdan // International journal "Information content & processing". – 2014. – № 1. – С. 79–86.

9. *Макгрегор Дж.* Тестирование объектно-ориентированного программного обеспечения : практическое пособие : пер. с англ. / Дж. Макгрегор, Д. Сайкс. – К., 2002. – 432 с.

10. *Прикладная* теория цифровых автоматов / К. Г. Самофалов, А. М. Романкевич, В. Н. Валуйский, Ю. С. Каневский, М. М. Пиневич. – К. : Вища школа, 1987. – 374 с.

11. *Литвинов В. В.* Тестирование моделей объектно-ориентированного программного обеспечения / В. В. Литвинов, И. В. Богдан // Математичні машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 117–125.

УДК 004.896:629.3.081.4

М.В. Двоєглазова, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА ТА ПРОЕКТУ

М.В. Двоеглазов, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ И ПРОЕКТА

Maryna Dvoiehlazova, PhD in Technical Science
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

RESEARCH OF PROCESS OF FUNCTIONING OF THE INTEGRATED INFORMATION SYSTEMS OF THE ENTERPRISE AND THE PROJECT

Проведено дослідження ефективності функціонування інтегрованої інформаційної системи машинобудівного підприємства та інвестиційного проекту його розвитку. Побудова інтегрованої інформаційної системи в роботі проведена за допомогою побудови шарів ефективності при використанні моделі аналізу середовища функціонування. Встановлено, що ефективність функціонування інтегрованої інформаційної системи збільшується протягом життєвого циклу проекту.

Ключові слова: *інтегрована інформаційна система, підприємство, проект, ефективність.*

Проведено исследование эффективности функционирования интегрированной информационной системы машиностроительного предприятия и инвестиционного проекта его развития. Установлено, что эффективность функционирования интегрированной информационной системы увеличивается в течение жизненного цикла проекта.

Ключевые слова: *интегрированная информационная система, предприятие, проект, эффективность.*

Research of efficiency of functioning of the integrated information system of machine-building enterprise and the investment project of its development is conducted. It is established that efficiency of functioning of the integrated information system increases during life cycle of the project.

Key words: *the integrated information system, the enterprise, the project, efficiency.*

Постановка проблеми. Проблема інтеграції інформаційних систем проектів та підприємства зумовлена багатьма факторами, пов'язаними зі зростанням обсягів даних, які застосовують автоматизовані інформаційні системи при розрахунку та реалізації інвестиційних проектів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням інформаційної взаємодії інформаційних систем присвячені роботи Д.В. Ланде, В.М. Левикіна, О.Є. Литвиненка, О.А. Павлова, Ю.М. Теслі та ін. [1–5]. Проте в межах проблеми інтеграції інформаційних систем недостатньо уваги приділено питанням дослідження процесу функціонування інтегрованих інформаційних систем підприємств та інвестиційних проектів.

Мета. Метою статті є дослідження процесу функціонування інтегрованої інформаційної системи підприємства та інвестиційного проекту, що реалізується на підприємстві машинобудівної галузі.

Виклад основного матеріалу. На основі механізму інтеграції інформаційних систем, розробленого в роботі [6], була побудована нейронна мережа для вибору найбільш раціональної конфігурації їх кінцевого стану. На основі цих досліджень було доведено,

що системи можуть досягти власного ефективного стану роботи при заданих векторах управління за 5 та 7 епох відповідно (2,5 та 3,5 роки) [7]. Але при цьому не були визначені заходи зміни ресурсів інформаційних систем для досягнення ними ефективних станів. Для реалізації поставленої задачі побудуємо шари ефективності за алгоритмом, представленим на рис. 1, окремо для кожної інформаційної системи, а також проведемо оцінювання зміни параметрів управління інтегрованої ІС на діапазоні часового інтервалу інтеграції систем 5 років (10 епох).

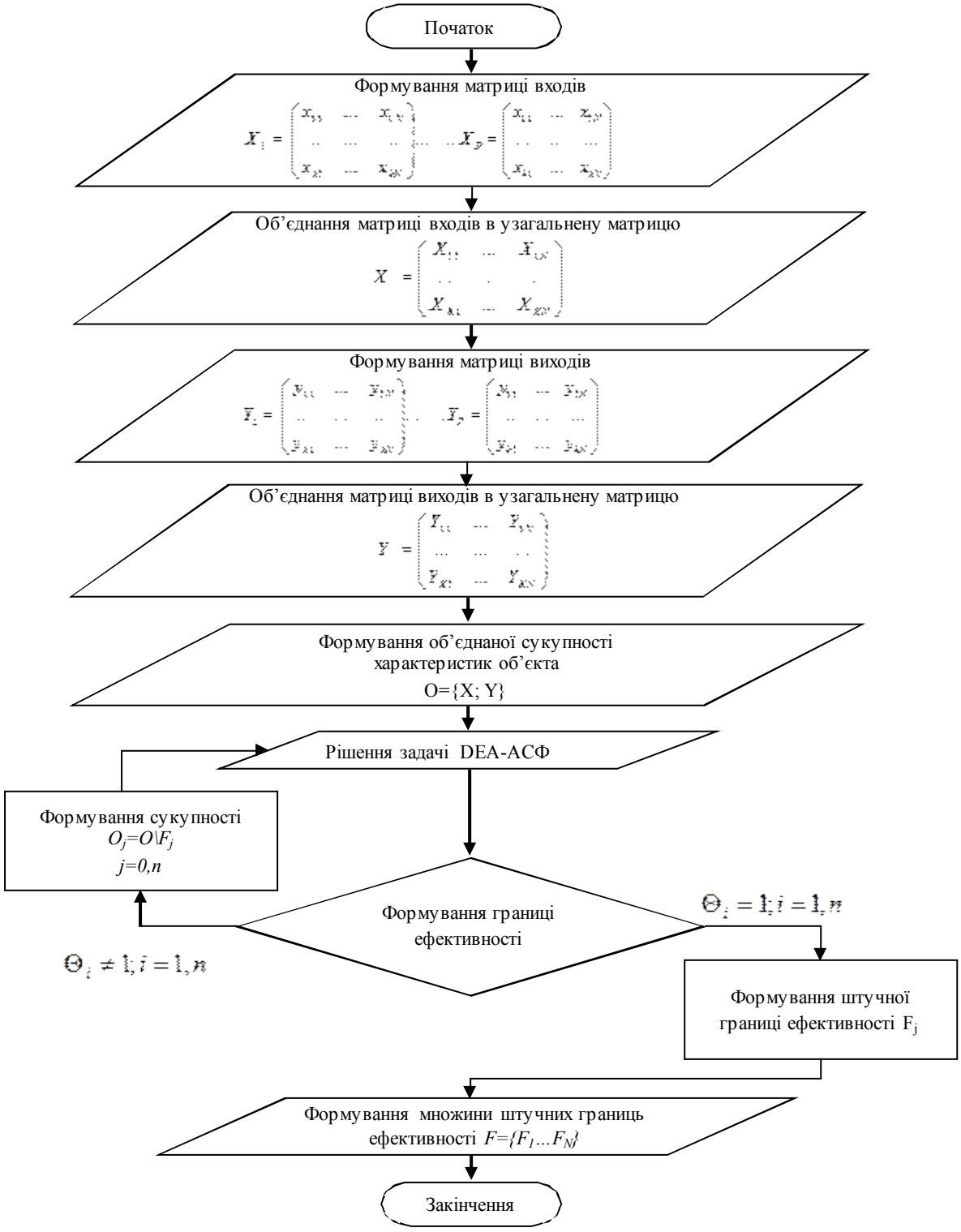


Рис. 1. Алгоритм формування шарів ефективності

Побудова інтегрованої інформаційної системи в роботі проведена за допомогою побудови шарів ефективності з використанням моделі аналізу середовища функціонування (АСФ), орієнтованої на вихід (рис. 2). На основі запропонованого модифікованого методу до оцінювання ступеня ефективності функціонування системи здійснюється за рахунок визначення точок їх дотику в заданий проміжок часу.

Шар ефективності системи буде визначатись як множина точок, визначених для *i*-го виходу системи при заданому рівні входів на всьому часовому проміжку опису системи. Задача розв'язується *T* разів для кожного набору $y_i = f(x_i x_j)$.

Вхідними даними для розрахунків є:

– часовий інтервал функціонування системи T=5 років (10 епох);
– число вхідних змінних системи К=3 – $X=\{X_1,X_2,X_3\}$;
– число вихідних змінних об'єднаної системи М=2 – $Y=\{Y_4,Y_5\}$.

Матриці входів та виходів системи мають вигляд:

$$X=\begin{pmatrix} x_1^1 & x_1^2 & x_1^3 & x_1^4 & x_1^5 \\ x_2^1 & x_2^2 & x_2^3 & x_2^4 & x_2^5 \\ x_3^1 & x_3^2 & x_3^3 & x_3^4 & x_3^5 \end{pmatrix};\ Y=\begin{pmatrix} Y_1^1 & Y_1^2 & Y_1^3 & Y_1^4 & Y_1^5 \\ Y_2^1 & Y_2^2 & Y_2^3 & Y_2^4 & Y_2^5 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Оскільки вхідні та вихідні масиви представлені у різних одиницях вимірювання, то в роботі запропоновано використовувати відносні величини структури показників на заданому проміжку часу:

$$X=\begin{pmatrix} 0{,}15 & 0{,}2 & 0{,}25 & 0{,}2 & 0{,}2 \\ 0{,}323 & 0{,}167 & 0{,}187 & 0{,}127 & 0{,}197 \\ 0{,}3 & 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}2 & 0{,}2 \end{pmatrix};\ Y=\begin{pmatrix} 0{,}1 & 0{,}1 & 0{,}3 & 0{,}3 & 0{,}2 \\ 0{,}182 & 0{,}159 & 0{,}255 & 0{,}217 & 0{,}187 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

У такій постановці задача визначення точок дотику інформаційної системи підприємства у, наприклад, момент часу T=1 буде являти собою розв'язок задачі як системи вигляду:

$$\begin{cases} \Theta^1 = \max(\lambda_1^1, \lambda_2^1, \lambda_3^1, \lambda_4^1, \lambda_5^1); \\ -\Theta^1 y_4^1 + (y_4^1\lambda_1^1 + y_4^2\lambda_2^1 + y_4^3\lambda_3^1 + y_4^4\lambda_4^1 + y_4^5\lambda_5^1) \ge 0; \\ -\Theta^1 y_5^1 + (y_5^1\lambda_1^1 + y_5^2\lambda_2^1 + y_5^3\lambda_3^1 + y_5^4\lambda_4^1 + y_5^5\lambda_5^1) \ge 0; \\ x_1^1 - (x_1^1\lambda_1^1 + x_1^2\lambda_2^1 + x_1^3\lambda_3^1 + x_1^4\lambda_4^1 + x_1^5\lambda_5^1) \ge 0; \\ x_2^1 - (x_2^1\lambda_1^1 + x_2^2\lambda_2^1 + x_2^3\lambda_3^1 + x_2^4\lambda_4^1 + x_2^5\lambda_5^1) \ge 0; \\ x_3^1 - (x_3^1\lambda_1^1 + x_3^2\lambda_2^1 + x_3^3\lambda_3^1 + x_3^4\lambda_4^1 + x_3^5\lambda_5^1) \ge 0; \\ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1; \\ \lambda_i \ge 0. \end{cases} \quad (3)$$

У (3) наведені додаткові обмеження на вектори управління λ на суму та невід'ємність. Аналогічний вигляд мають системи для визначення параметрів для інтервалів часу T=2,3,4,5.

Визначення показника ефективності Θ згідно з (3) проводилось на основі розв'язку задачі лінійного програмування за допомогою надбудови «Поиск решения» із визначенням напрямку оптимізації та обмежень.

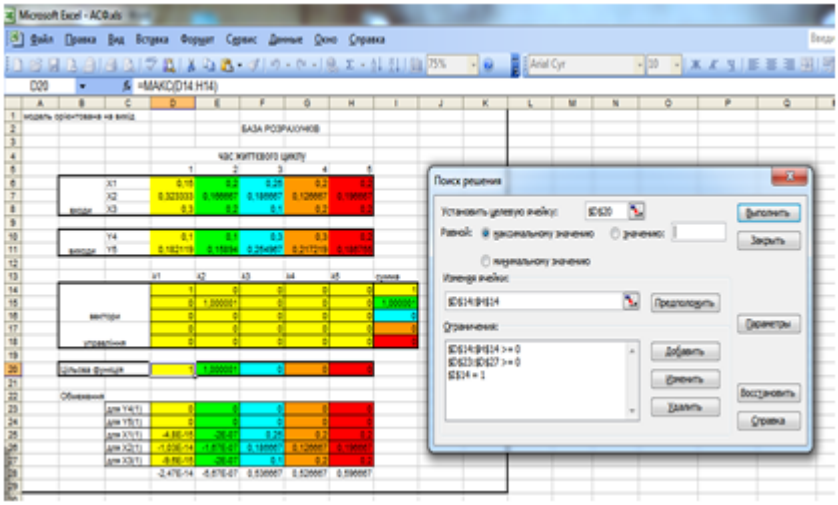


Рис. 2. Фрагмент визначення границі інформаційної системи підприємства в момент часу T=1 (перший рік життєвого циклу)

Дослідження проводилось N=11·5=55 разів, де 11 – кількість заданих еталонних значень ефективності системи (Θ=min, Θ=0,1; … Θ=0,9; Θ=max), 5 – кількість років життєвого циклу реалізації проекту.

Особливістю використання запропонованої методики є те, що в роботі проведене формування еталонних меж ефективності функціонування системи у просторі входів-виходів та їх зміни у часі (рис. 3).

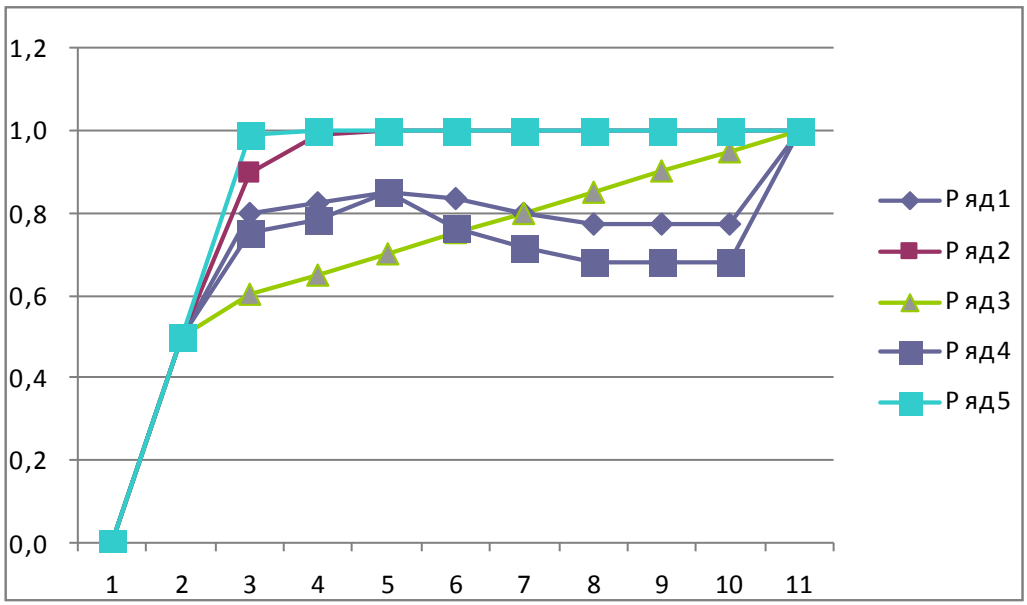


Рис. 3. Шари ефективності інформаційної системи підприємства у просторі входів-виходів за період T=1…5 років

Таким чином, кожен стан системи може бути описаний:

– статистичними даними про реальний стан параметрів входів-виходів;

– розрахованим показником ефективності;

– рекомендованим управлінням стану за входами-виходами;

– рекомендованим значенням станів, за яких досягається максимальна ефективність системи у цей момент часу.

Результати обчислень наведені в табл. 1. За аналогічною методикою було проведено оцінювання параметрів ефективності інформаційної системи проекту у просторі станів за період життєвого циклу проекту (рис. 4). Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Визначення параметрів управління інформаційною системою підприємства

Час ЖЦ системи Т, рік	Входи системи	Значення показників (реальні)		Параметр ефективності Θ=max	Необхідне управління за період t=1….T	Значення показників (рекомендовані)	
		чисельно	частка, %			чисельно	частка, %
1	X1	150	15	0,720	0,34	201,75	20,17
	X2	2	33,33		0,02	2,04	34,05
	X3	0,3	30		0,01	0,30	30,27
	Y4	0,1	10		0,01	0,10	10,09
	Y5	550	6,428		0,11	608,48	7,11
2	X1	200	20	0,853	0,36	272,93	27,29
	X2	1	16,67		0,53	1,53	25,49
	X3	0,2	20		0,03	0,21	20,51
	Y4	0,1	10		0,07	0,11	10,72
	Y5	1030	12,04		0,11	1142,4	13,35
3	X1	250	25	0,700	0,01	252,27	25,23
	X2	1	16,67		0,03	1,03	17,25
	X3	0,1	10		0,59	0,16	15,91
	Y4	0,3	30		0,34	0,40	40,32
	Y5	1800	21,04		0,11	1993,1	23,29
4	X1	200	20	0,673	0,03	206,69	20,67
	X2	1	16,67		0,17	1,17	19,42
	X3	0,2	20		0,02	0,20	20,46
	Y4	0,3	30		0,31	0,39	39,21
	Y5	2456	28,71		0,52	3733,1	43,63
5	X1	200	20	0,863	0,06	211,82	21,18
	X2	1	16,67		0,19	1,19	19,89
	X3	0,2	20		0,14	0,23	22,84
	Y4	0,2	20		0,03	0,21	20,62
	Y5	3020	35,3		0,11	3355,0	39,21

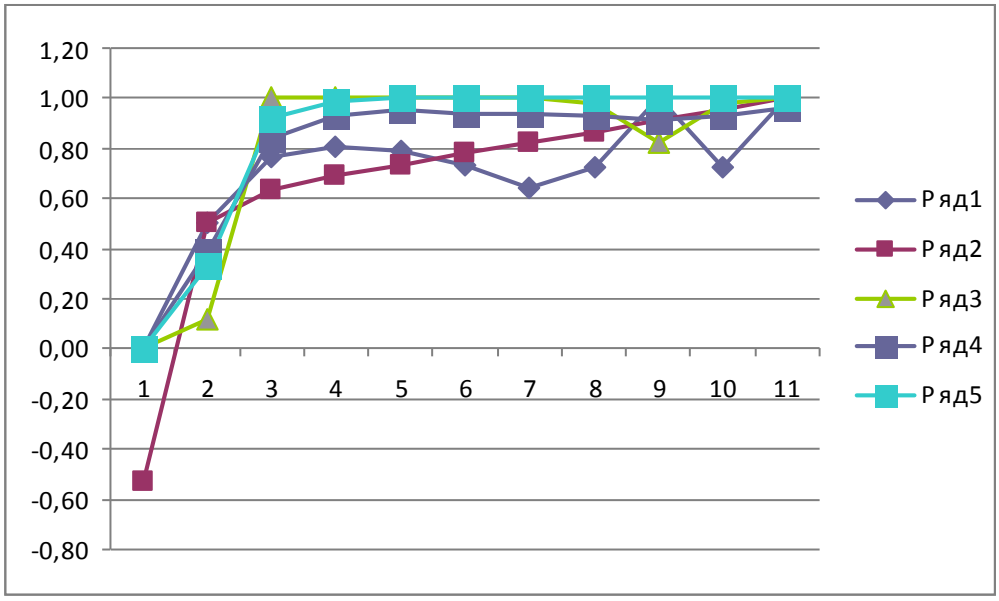


Рис. 4. Шари ефективності інформаційної системи проекту у просторі входів-виходів за період Т=1…5 років

Таблиця 2

Визначення параметрів управління інформаційною системою проекту

Час ЖЦ системи Т, рік	**Входи системи**	**Значення показників (реальні)**		**Параметр ефективності Θ =max**	**Необхідне управління за період t=1….T**	**Значення показників (рекомендовані)**	
		чисельно	**частка, %**			**чисельно**	**частка, %**
1	X4	0,1	10	0,698	0,20	0,12	11,98
	X5	1	10		0,12	1,12	11,24
	X6	4	25		0,11	4,44	27,74
	Y1	0,1	10		0,22	0,12	12,19
	Y2	0,2	20		0,19	0,24	23,72
	Y3	89	11,44		0,17	104,0	13,37
2	X4	0,1	10	0,669	0,12	0,11	11,22
	X5	1	11,11		0,51	1,51	16,78
	X6	2	12,5		0,18	2,35	14,69
	Y1	0,2	20		0,39	0,28	27,78
	Y2	0,3	30		0,06	0,32	31,80
	Y3	100	12,85		0,15	114,8	14,76
3	X4	0,2	20	0,809	0,33	0,27	26,70
	X5	2	25		0,05	2,10	26,19
	X6	4	25		0,09	4,34	27,15
	Y1	0,2	20		0,07	0,21	21,38
	Y2	0,1	10		0,07	0,11	10,75
	Y3	156	20,05		-0,04	149,7	19,24
4	X4	0,3	30	0,792	0,13	0,34	33,84
	X5	3	0,54		0,07	3,22	0,58
	X6	3	18,75		0,47	4,41	27,55
	Y1	0,2	20		0,15	0,23	23,02
	Y2	0,3	30		0,11	0,33	33,35
	Y3	208	20800		0,18	245,6	24559
5	X4	0,3	30	0,840	0,03	0,31	31,00
	X5	3	0,19		0,01	3,03	0,19
	X6	3	18,75		0,06	3,19	19,92
	Y1	0,3	30		0,06	0,32	31,68
	Y2	0,1	10		0,47	0,15	14,67
	Y3	225	28,92		0,39	312,1	40,12

Для оцінювання ефективності інтегрованої інформаційної системи постановка задачі визначення параметра Θ в об’єднаних просторах входів-виходів буде мати вигляд (3). Розв’язок системи (3) відносно показника ефективності, проведений за допомогою надбудови MS Excel «Поиск решения», дав результати, наведені в табл. 3.

$$\begin{cases} \Theta^1 = \max(\lambda_1^1, \lambda_2^1, \lambda_3^1, \lambda_4^1, \lambda_5^1); \\ -\Theta^1 y_1^1 + (y_1^1\lambda_1^1 + y_1^2\lambda_2^1 + y_1^3\lambda_3^1 + y_1^4\lambda_4^1 + y_1^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ -\Theta^1 y_2^1 + (y_2^1\lambda_1^1 + y_2^2\lambda_2^1 + y_2^3\lambda_3^1 + y_2^4\lambda_4^1 + y_2^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ -\Theta^1 y_3^1 + (y_3^1\lambda_1^1 + y_3^2\lambda_2^1 + y_3^3\lambda_3^1 + y_3^4\lambda_4^1 + y_3^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ -\Theta^1 y_4^1 + (y_4^1\lambda_1^1 + y_4^2\lambda_2^1 + y_4^3\lambda_3^1 + y_4^4\lambda_4^1 + y_4^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ -\Theta^1 y_5^1 + (y_5^1\lambda_1^1 + y_5^2\lambda_2^1 + y_5^3\lambda_3^1 + y_5^4\lambda_4^1 + y_5^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ x_1^1 - (x_1^1\lambda_1^1 + x_1^2\lambda_2^1 + x_1^3\lambda_3^1 + x_1^4\lambda_4^1 + x_1^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ x_2^1 - (x_2^1\lambda_1^1 + x_2^2\lambda_2^1 + x_2^3\lambda_3^1 + x_2^4\lambda_4^1 + x_2^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ x_3^1 - (x_3^1\lambda_1^1 + x_3^2\lambda_2^1 + x_3^3\lambda_3^1 + x_3^4\lambda_4^1 + x_3^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ x_4^1 - (x_4^1\lambda_1^1 + x_4^2\lambda_2^1 + x_4^3\lambda_3^1 + x_4^4\lambda_4^1 + x_4^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ x_5^1 - (x_5^1\lambda_1^1 + x_5^2\lambda_2^1 + x_5^3\lambda_3^1 + x_5^4\lambda_4^1 + x_5^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ x_6^1 - (x_6^1\lambda_1^1 + x_6^2\lambda_2^1 + x_6^3\lambda_3^1 + x_6^4\lambda_4^1 + x_6^5\lambda_5^1) \geq 0; \\ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1; \\ \lambda_i \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Таблиця 3

Параметри управління інтегрованою інформаційною системою

Час ЖЦ сист., рік	Входи-виходи сист.	Значення показників реально		Параметр ефективності Θ	Необхідне управління за період	Значення показників (рекомендовані)	
		чисельно	частка, %		t=1….T	чисельно	частка, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	X1	150	0,150	0,201	0,10	164,50	0,16
	X2	2	0,333		0,05	2,11	0,35
	X3	0,3	0,300		0,05	0,32	0,32
	X4	0,1	0,100		0,01	0,10	0,10
	X5	1	0,100		0,01	1,01	0,07
	X6	4	0,250		0,05	4,19	0,21
	Y1	0,1	0,100		0,25	0,12	0,21
	Y2	0,2	0,200		0,25	0,25	0,25
	Y3	89	0,114		0,25	110,91	0,12
	Y4	0,1	0,100		0,25	0,12	0,14
	Y5	550	0,064		0,25	685,18	0,16
2	X1	200	0,200	0,190	0,04	208,32	0,21
	X2	1	0,167		0,18	1,18	0,35
	X3	0,2	0,200		0,04	0,21	0,13
	X4	0,1	0,100		0,04	0,10	0,10
	X5	1	0,111		0,04	1,04	0,13
	X6	2	0,125		0,04	2,08	0,26
	Y1	0,2	0,200		0,14	0,23	0,19
	Y2	0,3	0,300		0,13	0,34	0,11
	Y3	100	0,129		0,10	109,70	0,22
	Y4	0,1	0,100		0,10	0,11	0,27
	Y5	1030	0,120		0,14	1175,4	0,29

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
3	X1	250	0,250	0,231	0,05	262,41	0,21
	X2	1	0,167		0,06	1,06	0,11
	X3	0,1	0,100		0,18	0,12	0,24
	X4	0,2	0,200		0,04	0,21	0,31
	X5	2	0,250		0,04	2,09	0,22
	X6	4	0,250		0,04	4,18	0,21
	Y1	0,2	0,200		0,09	0,22	0,18
	Y2	0,1	0,100		0,06	0,11	0,21
	Y3	156	0,201		0,13	175,68	0,34
	Y4	0,3	0,300		0,16	0,35	0,01
	Y5	1800	0,210		0,14	2048,5	0,21
4	X1	200	0,200	0,470	0,08	215,87	0,22
	X2	1	0,167		0,03	1,03	0,31
	X3	0,2	0,200		0,08	0,22	0,29
	X4	0,3	0,300		0,38	0,41	0,41
	X5	3	0,005		0,05	3,15	0,30
	X6	3	0,188		0,05	3,16	0,21
	Y1	0,2	0,200		0,06	0,21	0,18
	Y2	0,3	0,300		0,05	0,32	0,21
	Y3	208	0,267		0,07	222,56	0,32
	Y4	0,3	0,300		0,08	0,32	0,00
	Y5	2456	0,287		0,07	2632,0	0,20
5	X1	200	0,200	0,266	0,07	213,93	0,32
	X2	1	0,167		0,04	1,04	0,10
	X3	0,2	0,200		0,04	0,21	0,30
	X4	0,3	0,300		0,05	0,31	0,21
	X5	3	0,002		0,24	3,72	0,44
	X6	3	0,188		0,05	3,15	0,00
	Y1	0,3	0,300		0,14	0,34	0,00
	Y2	0,1	0,100		0,05	0,10	0,00
	Y3	225	0,289		0,13	253,83	0,00
	Y4	0,2	0,200		0,05	0,21	0,00
	Y5	3020	0,353		0,14	3456,2	0,00

На рис. 5 представлено шари ефективності інтегрованої інформаційної системи проекту у просторі входів-виходів за період T=1…5 років.

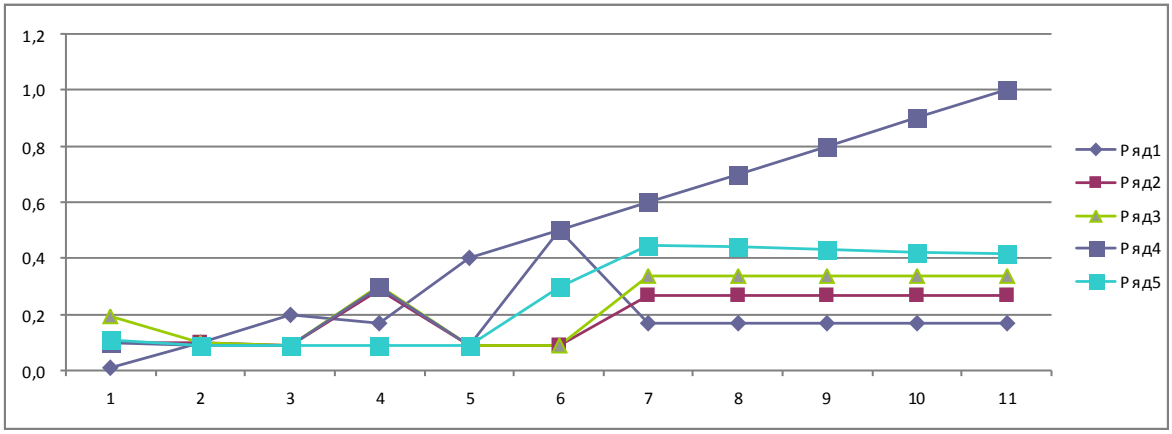


Рис. 5. Шари ефективності інтегрованої інформаційної системи у просторі входів-виходів за період T=1…5 років

Проведене дослідження ефективності інтегрованої інформаційної системи показує, що ефективність функціонування збільшується протягом життєвого циклу проекту.

Найвища ефективність функціонування інтегрованої інформаційної системи спостерігається на четвертому році реалізації проекту розвитку машинобудівної галузі.

Висновки. Проведено дослідження ефективності функціонування інтегрованої інформаційної системи машинобудівного підприємства та інвестиційного проекту його розвитку. Побудова інтегрованої інформаційної системи проведена за допомогою побудови шарів ефективності з використанням моделі аналізу середовища функціонування. Встановлено, що ефективність функціонування інтегрованої інформаційної системи збільшується протягом життєвого циклу проекту. Найбільшої ефективності функціонування інтегрована інформаційна система досягає на четвертому році реалізації інвестиційного проекту розвитку машинобудівної галузі.

Список використаних джерел

1. *Додонов А. Г.* Компьютерные информационно-аналитические системы / А. Г. Додонов, Д. В. Ландэ, В. Г. Путятин. – К. : Наук. думка, 2011. – 384 с.

2. *Левикін В. М.* Розробка узагальненої моделі створення інформаційного комплексу автоматизованих систем / В. М. Левикін, М. С. Кудрявцева // Нові технології. – 2005. – № 3 (9). – С. 57.

3. *Литвиненко А. Е.* Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования / А. Е. Литвиненко. – К., 2007. – 328 с.

4. *Павлов А. А.* Информационные технологии и автоматизация управления / А. А. Павлов, С. Ф. Теленик. – К. : Техника, 2002. – 344 с.

5. *Тесля Ю. М.* Системна організація управлінських взаємодій як інструмент підвищення ефективності реалізації складних проектів / Ю. М. Тесля, І. І. Оберемок, О. Г. Тімінський // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 2. – С. 100–105.

6. *Сахно Є. Ю.* Формування узагальненої моделі інтеграції інформаційних систем підприємства та проекту / Є. Ю. Сахно, І. С. Скітер, М. В. Двоєглазова // Управління розвитком складних систем. – 2013. – № 14. – С. 116–121.

7. *Скітер І. С.* Застосування технологій нейромережевого моделювання для оцінки ефективності інтеграції інформаційних систем / І. С. Скітер, О. В. Трунова, М. В. Двоєглазова // Чернігівський науковий часопис. Серія 2. Техніка і природа. – 2012. – № 1 (3). – С. 44–51.

УДК 004.031.42

О.В. Заріцький, канд. техн. наук
В.В. Судік, аспірант
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОДЕЛЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ

О.В. Зарицкий, канд. техн. наук
В.В. Судик, аспирант
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ

Oleh Zaritskyi, PhD in Technical Sciences
Volodymyr Sudik, PhD student
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

CLASSIFICATION OF MODERN INFORMATION SYSTEMS MODELING AND HUMAN RESOURCES MANAGEMENT

Представлено результати дослідження підходів до класифікації сучасного програмного забезпечення управління людськими ресурсами – інформаційних кадрових систем (ІКС) за допомогою одного з методів класифікаційного аналізу без навчання – кластерного аналізу систем, який дозволив розбити ІКС на певні групи за визначеною методикою та розглянути основні напрямки сучасного розвитку систем такого класу.

***Ключові слова**: програмне забезпечення, управління людськими ресурсами, інформаційні кадрові системи, кластерний аналіз систем.*

Представлены результаты исследований подходов к классификации современного программного обеспечения управления человеческими ресурсами – информационных кадровых систем (ИКС) с помощью одного из методов классификационного анализа без обучения – кластерного анализа систем, который позволил разделить ИКС на определенные группы согласно утвержденной методике и рассмотреть основные направления современного развития систем такого класса.

***Ключевые слова**: программное обеспечение, управление человеческими ресурсами, информационные кадровые системы, кластерный анализ систем.*

In article research results of modern human resource management software –information staff system (ISS) classification methods are presented. Using one of classification analysis method without training – cluster system analysis allowed to divide ISS to certain groups and review modern direction of development such software systems.

***Key words**: software, human resource control, information staff system, system clustering analysis.*

Постановка проблеми. За типами персональних даних [1]: якісні та кількісні, які обробляються в інформаційних кадрових системах (ІКС), їх можна розділити на два великі класи: системи управління персоналом та системи автоматизації кадрових операцій. Перший клас систем на відміну від другого, який працює з кількісними даними, дозволяє обробляти як кількісні, так і якісні дані (рис. 1). Системи автоматизації кадрових операцій також називають традиційними системами автоматизації кадрового обліку.

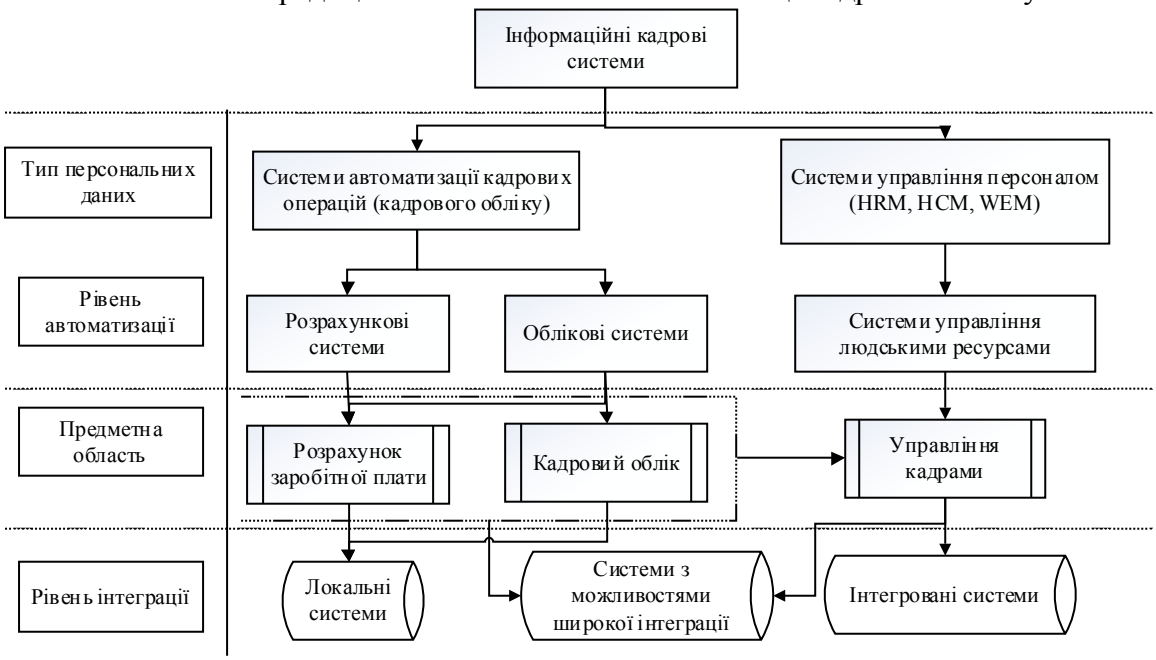


Рис. 1. Класифікація інформаційних кадрових систем

За рівнем автоматизації процесів оброблення інформації кадрові системи поділяються на розрахункові, облікові та системи управління людськими ресурсами. Рівень автоматизації систем історично пов'язаний з предметними галузями кадрового менеджменту, автоматизація яких здійснювалася відповідно до розвитку можливостей програмного та апаратного забезпечення, а самі предметні галузі також розвивалися відповідно до еволюції кадрових концепцій. Рівень автоматизації відображує хронологічну послідовність в еволюції кадрових концепцій. На рис. 1 представлено сучасну загальноприйняту класифікацію програмного забезпечення для вирішення задач управління людськими ресурсами. Однак слід зазначити, що вона відображає лише загальний підхід з погляду предметних галузей та типів даних, які обробляються в системах. У зв'язку з інтенсивним розвитком сучасного програмного забезпечення, інтелектуальних систем прийняття рішень та суттєвих змін у загальній парадигмі управління людськими ресурсами після 2005 року, особливо у кризовий і післякризовий періоди 2008–2010 рр., на ринку з'явилися інноваційні програмні рішення як комплексні, так і локальні для вирішення вузьких задач, які практично не підпадають під наведену класифі-

кацію. У зв'язку з цим нами розглянута актуальна проблема класифікації програмного забезпечення, яка б реально враховувала всі сучасні тенденції його розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження аналітичних оглядів, робіт за тематикою [2; 3] та безпосередньо програмного забезпечення [4] дозволило виділити основні групи програмного забезпечення та прийняту на сьогодні його класифікацію (рис. 1). Аналіз також показав, що наведена класифікація не враховує розвиток та сучасний стан інформаційних систем управління людськими ресурсами, який відбувся за останні 5–8 років.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Таким чином, прийнята класифікація не повною мірою дозволяє класифікувати інформаційні кадрові системи з погляду реалізованого функціоналу, а розглядає їх лише в межах типів оброблення інформації та рівнів автоматизації базових операцій. Таким чином, завдання розроблення нових підходів до класифікації ІКС та їх практична реалізація є актуальним науковим завданням.

Мета статті. Метою статті є висвітлення підходів щодо класифікації сучасного програмного забезпечення, яке вирішує завдання управління людськими ресурсами з урахуванням сучасних тенденцій як у розвитку парадигми управління кадрами, так і безпосередньо самого програмного забезпечення, що дозволить зробити аналіз його стану та перспективи і тенденції розвитку.

Виклад основного матеріалу. Базою для класифікації ІКС пропонуємо розглядати систему класифікації функціональних блоків і рівнів та взаємозв'язок між ними, виходячи з основних предметних галузей кадрового менеджменту та відповідних рівнів автоматизації, тобто виділяти розрахунковий, обліковий рівні, рівень адміністрування і документообігу системи та блок управління персоналом. Відповідно до запропонованої класифікації здійснення аналізу наявних інформаційних кадрових систем відбувалося з погляду повноти реалізації 30 функціональних модулів (табл. 1).

Таблиця 1

Функціональні модулі інформаційних кадрових систем

№	Назва функціонального модуля	Скорочення
1	2	3
Організаційний менеджмент		
1	Управління організаційною структурою	УОС
2	Управління штатним розписом	УШР
3	Базові кадрові операції	БКО
Організація обліку		
4	Особові картки, ведення історії	ОК
5	Облік робочого часу та відсутності	ОРЧ
6	Облік стажу	ОС
7	Регламентована звітність	РЗ
8	Військовий облік	ВО
Управління кадрами		
9	Підбір кадрів	ПК
10	Планування персоналу	ПП
11	Атестація персоналу	АП
12	Ділове оцінювання персоналу	ДОП
13	Управління компетенціями	УК
14	Управління кадровим резервом	УКР
15	Управління кар'єрою	УКар.
16	Моделювання мотивації	ММ
17	Компенсаційний пакет	КП

Закінчення табл. 1

1	2	3
18	Аналіз показників діяльності та ефективності	АПД
	Розвиток персоналу	
19	Управління навчанням, підвищенням кваліфікації, перепідготовкою кадрів	УНПК
20	Організація дистанційного навчання	ОДН
21	Організація корпоративної бази знань	КБЗ
	Розрахункові функції	
22	Розрахунок заробітної плати	РЗП
23	Розрахунок за середнім заробітком (відпустки, відрядження і т. ін.)	РСЗ
24	Автоматичний розрахунок нарахувань та відрахувань	АРН
25	Планування витрат на персонал	ПВП
	Адміністрування та документообіг	
26	Документообіг	Д
27	HR-портал	HR-П
28	Зв'язок із зовнішніми HR-ресурсами, інтеграція	ЗЗР
29	Аналітика по персоналу	АПП
30	SaaS, програмне забезпечення як послуга	SaaS

Аналіз рівнів реалізації автоматичних розрахунків та методів і способів роботи з даними в зазначених функціональних модулях, а також реалізованих взаємних інформаційних зв'язків у межах наявних ІКС дозволить здійснити класифікацію та виявити основні напрямки розвитку сучасного програмного забезпечення для автоматизації сучасної парадигми управління людськими ресурсами.

Для вирішення завдань класифікації використовувався один з методів класифікаційного аналізу без навчання – кластерний аналіз систем, який дозволив розбити інформаційні кадрові системи на певні групи за визначеною методикою [5]. Кластерний аналіз – це багатовимірна статистична процедура, яка виконує збір даних, що містять інформацію про вибірку об'єктів і потім упорядковує об'єкти в порівняно однорідні групи – кластери (Q-кластеризація, або Q-техніка, власне кластерний аналіз) [6].

Таблиця 2

Інформаційні системи управління людськими ресурсами

№	**Назва програмного забезпечення**	**Код**
1	2	3
1	1С: Зарплата й управління персоналом 8	01.
2	1С:Автоматизація. Управління робочим часом	02.
3	1С:Зарплата і кадри бюджетного підприємства 8	03.
4	1С:Зарплата і кадри навчального закладу	04.
5	1С:Зарплата і управління персоналом 8 КОРП	05.
6	1С:Медицина. Зарплата і кадри бюджетного підприємства	06.
7	1С:Підприємство 8. Кадрове агентство	07.
8	1С:Підприємство 8. Комплект прикладних рішень на 5 користувачів	08.
9	1С-Камин: Зарплата	09.
10	ADempiere 370 LTS	10.
11	AGroup HRB	11.
12	Alfa-HRMS - Alfa / Управління персоналом	12.
13	AraXGroup Співробітники підприємства	13.
14	BB workspace	14.
15	Competentum. Інструктор 2010	15.
16	Core Optimus HRM	16.
17	Diasoft FA Balance	17.
18	Dynamics AX "Управління персоналом", "Розрахунок зарплати"	18.

Продовження табл. 2

1	2	3
19	Dynamics NAV "Персонал и зарплата"	19.
20	E-Staff Рекрутер	20.
21	EXaudios MagInify HR	21.
22	Experium	22.
23	Giusto HRM Microsoft Dynamics AX 2009	23.
24	Global-HRM	24.
25	Global-Salary	25.
26	HRB Portal	26.
27	HRB/Управління персоналом і розрахунок заробітної плати	27.
28	IFS Персонал	28.
29	Infor WFM Workbrain	29.
30	Intercomp Global Services: Зарплата і Кадри SaaS	30.
31	IT-Підприємство (IT-Enterprise)	31.
32	КСТ-'М-3: Управління персоналом	32.
33	Kpi.com.ru	33.
34	Malahit: HR	34.
35	Naumen Talent Management	35.
36	Nice IEX Workforce Management	36.
37	Oracle E-Business Suite Oracle HRMS	37.
38	Oracle Fusion HCM Cloud Service	38.
39	Oracle Fusion Talent Management Cloud Service	39.
40	Qopilot	40.
41	RM: Управління персоналом	41.
42	SAP BusinessObjects Strategic Workforce Planning	42.
43	SAP EHS Management	43.
44	SAP E-Recruiting	44.
45	SAP ERP HCM	45.
46	SAP Org Visualization by Nakisa (SOVN)	46.
47	SAP Talent Visualization by Nakisa (STVN)	47.
48	Scala Управління персоналом	48.
49	StepStone e-Recruitment (i-Grasp)	49.
50	StepStone ETWeb	50.
51	StepStone Total Talent Management Solution	51.
52	SuccessFactors HCM	52.
53	Teleopti CCC	53.
54	Terrasoft XRM	54.
55	TimeC0ontrol	55.
56	TSC-HR	56.
57	UCMS WorkForce (Quinyx)	57.
58	АіТ: Управління персоналом	58.
59	Антегра: Зарплата й управління персоналом у кредитній організації 8	59.
60	Астерос Персонал	60.
61	БИТ: Зарплата і кадри у ВНЗ	61.
62	БИТ-АВРОБУС: Зарплата і кадри в навчальному закладі	62.
63	БОСС-Кадровик	63.
64	БОСС-Кадровик Express	64.
65	Галактика ERP: Контур управління персоналом	65.
66	Інноватор	66.
67	ИНЭК-Персонал	67.
68	Кадри (ЭОС)	68.

Закінчення табл. 2

1	2	3
69	Капітал CSE	69.
70	КАС "Бізнес Люкс": Управління персоналом	70.
71	КИС "Трудовик"	71.
72	Клієнт-Комунікатор: Комплексна конфігурація	72.
73	Компас: Управління персоналом	73.
74	Контур-Персонал	74.
75	КРАФТ: Підприємство	75.
76	Моноліт: Персонал	76.
77	Мотиватор, task manager	77.
78	НОРДІС/2: Управління персоналом	78.
79	Олімп – Управління персоналом	79.
80	Парус: "Управління персоналом"	80.
81	Система Alfa/Управління персоналом	81.
82	СМ-Управління персоналом	82.
83	Технологіка: Система управління рекрутингом	83.
84	Облік праці та заробітної плати – АМБа	84.
85	Флагман: Управління персоналом	85.
86	Евріка	86.

Розглянута нами множина об'єктів (програмних засобів) складається з 86 (табл. 2), $G=\{1\div 86\}$, кожний об'єкт характеризується вектором вимірювання (характеристик) $\vec{X}=\{1\div 30\}$. У результаті аналізу відповідних джерел [2] була побудована матриця характеристик програмного забезпечення. Для описання характеристик використовувалася категоріальна шкала вимірювання, тобто кожній характеристиці присвоювалося значення 0 (ні) у разі, якщо характеристика відсутня, або 1 (так) в іншому випадку. Таким чином, завдання класифікації програмного забезпечення полягало у формуванні груп схожого за характеристиками програмного забезпечення G_i, які будуть задовольняти певним критеріям оптимальності.

Подібність між об'єктами G_i розглядалася через поняття відсотка непогодженості [7; 8], як функції відстані між векторами вимірювань $\vec{X}$, у зв'язку з тим, що характеристики програмного забезпечення є категоріальними величинами (1):

$$d\left(X_i, X_j\right)=\frac{N_{x_{ik}\neq x_{jk}}}{k}, \tag{1}$$

де $N_{x_{ik}\neq x_{jk}}$ – кількість $x_{ik}\neq x_{jk}$;

k – загальна кількість характеристик двох об'єктів.

Відповідно до проведеної кластеризації інформаційних кадрових систем (рис. 2), можна виділити 6 груп програмного забезпечення на рівні $d\left(X_i, X_j\right)\le 0,45$, $\left(G_i, i=\{1\div 6\}\right)$:

– G_1 – облік, управління кадрами та заробітна плата;
– G_2 – розрахунок заробітної плати;
– G_3 – підбір персоналу (задачі рекрутингу) та ділова оцінка;
– G_4 – управління задачами та контроль робочого часу;
– G_5 – ділова оцінка персоналу та управління розвитком;
– G_6 – управління ресурсами повного циклу, тобто КІС, які забезпечують автоматизацію всіх функціональних напрямків методології управління людськими ресурсами в межах систем управління підприємства (ERP, enterprise resource planning).

Перевірка гіпотези щодо розбиття інформаційних кадрових систем відповідно на 6 груп здійснювалася з використанням дивізівного методу *k* – середніх, який передбачає розбиття всієї вибірки програмного забезпечення на зазначені нами групи та розрахунок дисперсій як усередині кожної групи, так і між групами, що дає змогу оцінити кількісно адекватність класифікації.

Попередній дисперсійний аналіз характеристик програмного забезпечення дозволив зменшити кількість параметрів класифікації до 28, що було пов'язане з рівнями значущості деяких показників (SaaS, АПП), які перевищували допустимий рівень 0,05 (табл. 3).

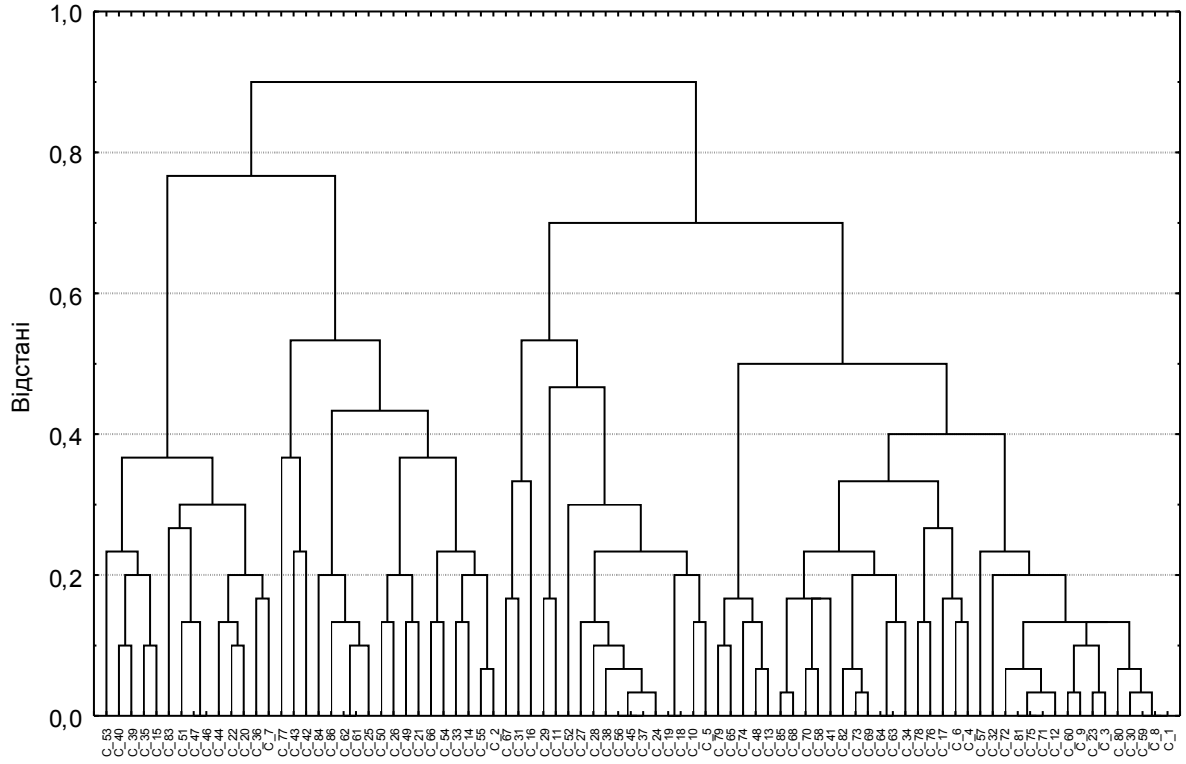


Рис. 2. Діаграми дерева програмного забезпечення

Таблиця 3

Дисперсійний аналіз показників (характеристик) програмного забезпечення

Змінні	Дисперсія між групами	df	Дисперсія всередині групи	df	F	Значущість, p
1	2	3	4	5	6	7
УОС	5,05515	5	7,32857	80	11,0366	0,000000
УШР	1,87243	5	6,18571	80	4,8432	0,000640
БКО	18,90100	5	1,65714	80	182,4924	0,000000
ОК	19,35814	5	1,20000	80	258,1084	0,000000
ОРЧ	11,67542	5	6,05714	80	30,8407	0,000000
ОС	19,95581	5	0,80000	80	399,1165	0,000000
РЗ	14,83819	5	5,91762	80	40,1193	0,000000
ВО	2,59372	5	9,12721	80	4,5468	0,001063
ПК	10,52630	5	10,40393	80	16,1882	0,000000
ПП	11,45874	5	10,02963	80	18,2798	0,000000
АП	5,29133	5	14,53425	80	5,8249	0,000123
ДОП	8,30151	5	12,03570	80	11,0358	0,000000
УК	12,70917	5	7,38385	80	27,5394	0,000000
УКР	11,35754	5	9,85176	80	18,4455	0,000000
УКар	10,26499	5	6,58385	80	24,9459	0,000000

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
ММ	9,15568	5	8,98385	80	16,3060	0,000000
КП	9,44289	5	8,28967	80	18,2258	0,000000
АПД	6,16856	5	14,58726	80	6,7660	0,000026
УНПК	11,12332	5	10,19064	80	17,4644	0,000000
ОДН	5,93214	5	8,87019	80	10,7004	0,000000
КБЗ	8,37412	5	10,84681	80	12,3526	0,000000
РЗП	13,65151	5	6,17407	80	35,3776	0,000000
РСЗ	16,48407	5	4,07407	80	64,7374	0,000000
АРН	16,48407	5	4,07407	80	64,7374	0,000000
ПВП	5,21555	5	9,58677	80	8,7046	0,000001
Д	7,58543	5	12,75178	80	9,5176	0,000000
HR-П	9,49658	5	11,25924	80	13,4952	0,000000
ЗЗР	4,16935	5	15,05158	80	4,4321	0,001295

Матриця значень середніх для кожного кластера програмного забезпечення представлена в табл. 4.

Таблиця 4

Середні для кожного кластера програмного забезпечення

Змінні	**Кластери програмного забезпечення**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
УОС	1,000000	0,428571	0,642857	0,400000	1,000000	1,000000
УШР	1,000000	0,714286	0,785714	0,600000	1,000000	1,000000
БКО	1,000000	0,142857	0,000000	0,000000	0,200000	1,000000
ОК	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,400000	1,000000
ОРЧ	1,000000	0,285714	0,071429	0,500000	0,600000	1,000000
ОС	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,200000	1,000000
РЗ	0,962963	0,285714	0,000000	0,100000	0,200000	0,913044
ВО	0,407407	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,130435
ПК	0,111111	0,000000	0,571429	0,100000	0,800000	0,869565
ПП	0,296296	0,000000	0,500000	0,100000	1,000000	1,000000
АП	0,259259	0,142857	0,285714	0,000000	0,400000	0,739130
ДОП	0,074074	0,142857	0,785714	0,100000	0,400000	0,695652
УК	0,000000	0,000000	0,857143	0,000000	0,800000	0,695652
УКР	0,222222	0,000000	0,428571	0,000000	0,800000	0,956522
УКар	0,000000	0,000000	0,142857	0,000000	1,000000	0,695652
ММ	0,000000	0,142857	0,214286	0,100000	1,000000	0,695652
КП	0,037037	0,142857	0,000000	0,200000	1,000000	0,695652
АПД	0,074074	0,285714	0,571429	0,400000	1,000000	0,608696
УНПК	0,148148	0,000000	0,714286	0,100000	0,600000	0,913044
ОДН	0,000000	0,000000	0,714286	0,100000	0,600000	0,217391
КБЗ	0,037037	0,000000	0,857143	0,500000	0,800000	0,304348
РЗП	0,814815	1,000000	0,000000	0,100000	0,400000	1,000000
РСЗ	0,814815	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000
АРН	0,814815	1,000000	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000
ПВП	0,703704	0,714286	0,928571	0,200000	1,000000	1,000000
Д	0,037037	0,428571	0,785714	0,500000	1,000000	0,347826
HR-П	0,037037	0,142857	1,000000	0,500000	0,600000	0,478261
ЗЗР	0,370370	0,857143	0,928571	0,700000	1,000000	0,695652

Середні для кожного кластера дають можливість оцінити внесок такої характеристики щодо її впливу на класифікацію та характеризують саму групу програмного забезпечення відносно функціоналу, який є найбільш пріоритетним для неї.

Аналіз даних табл. 4 дозволив зробити висновок щодо експертного розділення програмного забезпечення попередньо на шість груп (табл. 5) з великим рівнем значущості, використавши деревовидну кластеризацію.

Таблиця 5

Розподіл програмного забезпечення за групами

ПЗ	Відстань	ПЗ	Відстань	ПЗ	Відстань	ПЗ	Відстань
1	0,219002	79	0,353103	47	0,364466	10	0,300890
3	0,265422	80	0,182789	49	0,378205	17	0,330406
8	0,219002	81	0,163701	53	0,342825	18	0,308534
9	0,189887	82	0,369576	83	0,384891	19	0,308534
12	0,209747	85	0,247365	2	0,262543	24	0,332748
13	0,329861	16	0,448516	14	0,275811	27	0,313526
23	0,206570	25	0,207371	21	0,355065	28	0,243883
30	0,219002	33	0,338277	26	0,344860	34	0,372386
31	0,383625	61	0,219328	43	0,419609	37	0,306007
32	0,325827	62	0,219328	50	0,312250	38	0,306007
48	0,388763	84	0,298197	54	0,288469	41	0,337382
57	0,341680	86	0,219328	55	0,300595	45	0,306007
58	0,335823	7	0,319723	66	0,300595	56	0,306007
59	0,219002	15	0,327605	77	0,364985	63	0,332748
60	0,189887	20	0,237286	11	0,302372	64	0,332748
65	0,387058	22	0,311642	29	0,313961	67	0,339676
68	0,298274	35	0,350187	42	0,356571	69	0,332748
70	0,321741	36	0,294817	51	0,277746	73	0,353124
71	0,163701	39	0,303346	52	0,385450	76	0,359659
72	0,244677	40	0,286033	4	0,368193	78	0,355315
74	0,408668	44	0,335302	5	0,295684		
75	0,163701	46	0,364466	6	0,341954		

У табл. 5 у стовбцях представлені номери програмного забезпечення та відстань від центрів відповідних груп. Групи розділені подвійною лінією.

Використовуючи дані, отримані за допомогою методів багатомірного статистичного аналізу без навчання як основи для експертної класифікації програмного забезпечення, перейдемо до методу дискримінантного аналізу, тобто методу аналізу з навчанням. На рис. 3 представлено діаграму розсіяння канонічних значень для пар значень дискримінантних функцій.

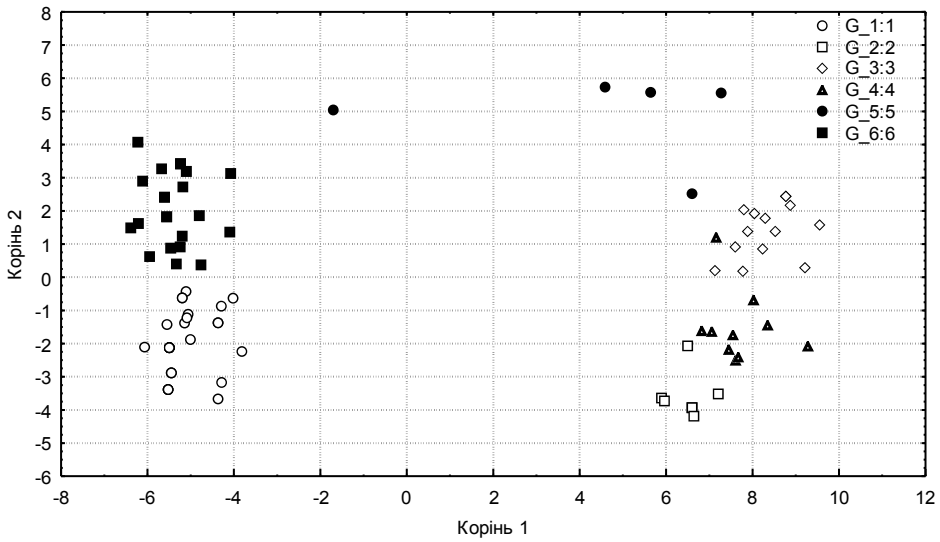


Рис. 3. Діаграма розсіяння

Як видно з діаграми (рис. 3), програмне забезпечення, яке відноситься до однакових груп (кластерів), локалізоване в певних областях площини, при цьому відстані між центроїдами груп G_1 та G_6 набагато менші, ніж між центроїдами груп G_2 та G_6. Це говорить про подібність між собою зазначених груп, тобто програмне забезпечення, в якому реалізовані функції обліку, управління кадрами та заробітна плата максимально подібне до систем ERP управління людськими ресурсами. Це закономірно, тому що локальні системи обліку останніми роками, або модернізувалися до систем повного циклу, або практично зникли з використання. Такі ж висновки щодо мінімальної відстані між центроїдами можна зробити щодо систем розрахунку заробітної плати G_2 та систем обліку робочого часу й управління задачами G_4 , оскільки ці системи, як правило, інтегрують для більшої ефективності використання.

Найбільші значення дисперсії всередині групи G_5 (ділове оцінювання та управління розвитком), що пов'язане практично з відсутністю у «чистому» вигляді таких систем, а також з тим, що цей функціонал реалізований практично у системах G_1 та G_6, що не дозволяє здійснити максимально чітку ідентифікацію та кластеризацію.

Висновки і пропозиції. Аналітичний огляд інформаційних кадрових систем за допомогою класифікаційного аналізу дозволив виділити серед програмного забезпечення три додаткові групи, які відрізняються від наявної на сьогодні класифікації та призначені для автоматизації задач з: підбору персоналу та ділового оцінювання; управління задачами та контроль робочого часу; ділового оцінювання персоналу та управління його розвитком. Відокремлення цих груп програмного забезпечення в окремі напрямки розроблення та розвитку відбувалося наприкінці третього періоду еволюції парадигми управління людськими ресурсами, що було пов'язане частково з можливістю реалізувати формалізовані соціальні моделі та автоматизувати психодіагностичні техніки.

Розгляд стану та напрямків розвитку сучасних інформаційних кадрових систем допомагає зрозуміти тенденції розроблення програмного забезпечення та його зв'язок з парадигмою управління людськими ресурсами.

Список використаних джерел

1. *Классификация* HRM-системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.tadviser.ru/index.php.

2. *HRM-системы* (мировой рынок) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.tadviser.ru/index.php.

3. *Задонцев Ю. В.* Технологія інформаційної підтримки процесів професійного навчання фахівців промислових підприємств : дис. … канд. техн. наук / Ю. В. Задонцев ; Національний авіаційний університет. – К., 2012. – 150 с.

4. *TEC 2012 HRM* Market Survey Report: What Organizations Want in Human Resources Management Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.technologyevaluation.com/register/?ReturnURL=%2fdownload%2fTEC-report%2f125463%2fTEC-2012-HRM-Market-Survey-Report-What-Organizations-Want-in-Human-Resources-Management-Software.html.

5. *Теория* статистики с основами теории вероятности / И. И. Елесеева, В. С. Князевский, Л. И. Новорожкина, З. А. Морозова. – М. : Юнити, 2001. – 345 с.

6. *Дубров А. М.* Многомерные статистические методы : учебник / А. М. Дубров, В. С. Мхитарян, В. И. Трошин. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 250 с.

7. *Хадафян А. А.* Statistica 6. Статистический анализ данных : учебник / А. А. Хадафян. – 3-е изд. – М. : Бином-Пресс, 2007. – 512 с.

8. *Вуколов Э. А.* Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций : учебное пособие / Э. А. Вуколов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Форум, 2008. – 464 с.

УДК 528.3

С.Д. Крячок, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗРІВНОВАЖЕННЯ ПОЛІГОНОМЕТРИЧНИХ МЕРЕЖ, ПОБУДОВАНИХ ЗУСТРІЧНИМИ ХОДАМИ

С.Д. Крячок, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

УРАВНИВАНИЕ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПОСТРОЕННЫХ ВСТРЕЧНЫМИ ХОДАМИ

Serhii Kriachok, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

ADJUSTMENT OF TRAVERSE NETWORKS, BUILT BY COUNTER MOVES

Наведено теоретичне обґрунтування процедури зрівноваження корелатним методом полігонометричних мереж, побудованих зустрічними ходами. Отримані формули для обчислення поправок у виміряні відстані та кути. Такі мережі створюються від двох опорних пунктів прокладанням витягнутих висячих світловіддалемірних ходів рівної довжини на зустріч один одному. Координати центрального пункту, до якого прокладаються зустрічні ходи, визначається як середнє арифметичне з координат двох зустрічних ходів. Побудова полігонометричних мереж зустрічними ходами дозволяє створити геодезичні мережі, пункти яких мають точність планового положення не нижчу, ніж точність вихідних пунктів, що актуально для цілей землеустрою, кадастру населених пунктів та інженерно-геодезичних задач.

Ключові слова: *полігонометрія, зрівноваження, координати пунктів, геодезичні мережі, землеустрій.*

Дано теоретическое обоснование процедуры уравнивания полигонометрических сетей, построенных встречными ходами. Получены формулы для вычисления поправок в измеренные расстояния и углы. Встречные ходы прокладываются от двух опорных пунктов навстречу друг другу в виде вытянутых висячих ходов равной длины с использованием электронных дальномеров. Координаты центрального пункта определяется как среднее арифметическое из координат двух ходов. Использование встречных ходов позволяет создать геодезические сети, пункты которых имеют точность планового положения не ниже, чем точность исходных пунктов. Это актуально для землеустройства, кадастра населенных пунктов и инженерно-геодезических задач.

Ключевые слова: *полигонометрия, уравнивание, координаты пунктов, геодезические сети, землеустройство.*

Theoretical substantiation of adjustment's procedure of the polygonometric networks built with counter moves is provided. Formulas for calculating the corrections in the measured distances and angles were received. Such moves are laid from two basic points towards each other in the form of elongated lines of equal length with the using of electronic rangefinders. The coordinates of the central point is defined as the average arithmetical from the coordinates of two counter moves. Using such counter moves allows to create a geodetic networks points which have the accuracy of the planned position not lower than the accuracy of the original points. This is especially important for land management, cadastre settlements and engineering surveying task.

Key words*: polygonometry, adjustment, point coordinates, geodetic networks, land management.*

Постановка проблеми. Принцип побудови геодезичних мереж ґрунтується на правилі «від загального до окремого». У такий спосіб створюються багаторівневі мережі з можливістю переходу від вищих до нижчих класів, коли точність планового чи висотного положення пунктів знижується після переходу до нижчого класу. Передача координат на геодезичну мережу повинна виконуватись від пунктів старших класів, які можуть знаходитись на значних відстанях від району робіт.

У підсумку маємо окремі частини території, які вкриті геодезичною мережею різного ступеня точності. Такий підхід утруднює виконання вимог землеустрою щодо визначення площі земель та оцінювання їх вартості, проведення розпланувальних робіт на значних територіях та інше.

На сучасному етапі вдосконалення геодезичних приладів значно підвищилась точність вимірювання відстаней з використанням світловіддалемірів та електронних тахеометрів. Це є підґрунтям для підвищення точності визначення планового положення геодезичних пунктів, координати яких отримані полігонометричним методом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікації [1] доведено, що застосування сучасних електронних тахеометрів для вимірювання відстаней у полігонометричних ходах дозволяє зменшити вимоги щодо точності кутомірних робіт.

У [2] наведено спосіб згущення геодезичної мережі від опорних пунктів прокладанням зустрічних світловіддалемірних витягнутих висячих ходів, які прокладаються від чотирьох вихідних пунктів назустріч один одному в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Координати центрального пункту мережі визначаються як середнє з координат, отриманих з чотирьох зустрічних ходів. Вказаний спосіб згущення забезпечує побудову мереж, пункти яких мають точність планового положення не нижчу, ніж вихідні пункти.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Згідно з [3], можна будувати такі мережі, пункти яких матимуть точність планового положення не нижчу, ніж точність вихідних пунктів, прокладанням витягнутих висячих полігонометричних ходів назустріч один одному лише від двох вихідних пунктів. Координати пункту, до якого прокладаються зустрічні ходи, визначаються як середнє з координат двох зустрічних ходів. Передачу координат можна виконувати від пунктів того ж класу, до якого належать мережі, що створюються. Недослідженою темою є процедура зрівноваження зустрічних ходів. Теоретичне обґрунтування та зрівноваження полігонометричних ходів різними способами докладно описано в багатьох джерелах. Найбільш оптимальною, на нашу думку, ця тема висвітлена у публікаціях [4; 5] з використанням корелатного методу.

Мета статті. Для практичного використання полігонометричних мереж, створених зустрічними ходами, необхідно теоретично обґрунтувати процедуру зрівноваження таких ходів.

Виклад основного матеріалу. Згідно з [3] від опорних пунктів *A* та *C* до пункту *P* прокладено назустріч один одному два світловіддалемірні витягнуті висячі ходи (рис. 1). На пункті *P* вимірюється горизонтальний кут, як і на інших пунктах зустрічних ходів. За величинами горизонтальних кутів обчислюється кутова нев'язка всього ходу та порівнюється з припустимою, але у процедурі зрівноваження та обчислення координат пунктів ходу горизонтальний кут пункту *P* участі не бере. Визначається середнє значення з координат пункту *P* з двох зустрічних ходів. Кожний зустрічний хід врівноважується окремо.

Таким чином, існує зустрічний полігонометричний хід (рис. 2), у якому виміряні горизонтальні кути β_i та горизонтальні відстані S_i. Відомими є координати пункту *A*: x_A та y_A, початковий дирекційний кут $\alpha_П$. Дирекційні кути сторін визначаються для лівих за ходом виміряних кутів β_i за відомою формулою

$$\alpha_i = \alpha_П + \sum_{i=1}^{i} \beta_i - 180^\circ i \,.$$

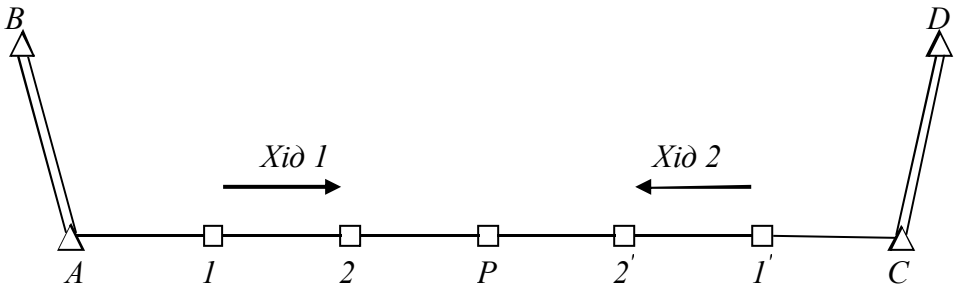


Рис. 1. Витягнутий полігонометричний хід, утворений двома зустрічними ходами до пункту P

Координати пунктів обчислюються за відомими формулами

$$\left.\begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + \Delta x_i = x_{i-1} + S_i \cos\alpha_i \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta y_i = y_{i-1} + S_i \sin\alpha_i \end{aligned}\right\}. \qquad (1)$$

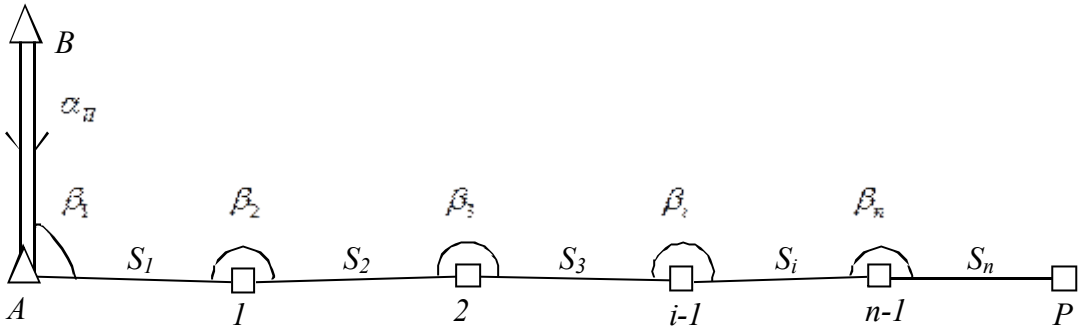


Рис. 2. Зустрічний хід з виміряними елементами

У наведений спосіб обчислюються координати пункту P: x'_P, y'_P. З другого зустрічного ходу (рис. 1) також визначаються координати пункту P:x''_P, y''_P. Для цього обчислюються дирекційні кути сторін ходу для правих виміряних кутів

$$\alpha_i = \alpha_П - \sum_{i=1}^{i} \beta_i + 180^\circ i,$$

де $\alpha_П$ – дирекційний кут напрямку D-C. Координати пунктів другого зустрічного ходу визначаються за формулою (1). Знаходяться середні значення координат для пункту P, які приймаються за остаточні

$$\left.\begin{aligned} x_P &= \frac{x'_P + x''_P}{2} \\ y_P &= \frac{y'_P + y''_P}{2} \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

Обчислюються нев'язки f'_x, f'_y за першим зустрічним ходом та нев'язки f''_x, f''_y за другим ходом

$$\left.\begin{aligned} f'_x &= x'_P - x_P \\ f'_y &= y'_P - y_P \end{aligned}\right\}, \qquad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} f''_x &= x''_P - x_P \\ f''_y &= y''_P - y_P \end{aligned}\right\}.$$

Визначаються загальні та відносні нев'язки у зустрічних ходах за відомими формулами, наведеними в [4], та порівнюють з припустимим значенням.

Процедура зрівноваження обох зустрічних ходів є однаковою. Тому проводиться теоретичне обґрунтування цієї процедури на прикладі першого зустрічного ходу за корелатним методом. Для спрощення можна позначити $f'_x = f_x$, $f'_y = f_y$, $S'_i = S_i$. Оскільки не визначається кутова нев'язка для кожного зустрічного ходу, то відсутня умова дирекційних кутів. Залишаються умови абсцис та ординат у вигляді

$$\left.\begin{aligned} x_P &= x_A + \sum_{i=1}^{n} \Delta x_i \\ y_P &= y_A + \sum_{i=1}^{n} \Delta y_i \end{aligned}\right\}.$$

Вони дають такі умовні рівняння [4]:

$$\left.\begin{aligned}\left[d\Delta x_i\right]_1^n + f_x = 0\\ \left[d\Delta y_i\right]_1^n + f_y = 0\end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

де $d\Delta x_i$, $d\Delta y_i$ – поправки у прирости абсцис і ординат пунктів полігонометричного ходу; $\left[d\Delta x_i\right]_1^n$, $\left[d\Delta y_i\right]_1^n$ – суми вказаних поправок (наведені позначення сум традиційні для математичної обробки геодезичних вимірювань). Прирости координат визначаються за формулою

$$\left.\begin{aligned}\Delta x_i = S_i \cos\alpha_i\\ \Delta y_i = S_i \sin\alpha_i\end{aligned}\right\}. \tag{5}$$

Після диференціювання (5) та проведення певних перетворень (4), наведених у [4], утворюються умовні рівняння поправок у вигляді

$$\left.\begin{aligned}\left[\cos\alpha_i \cdot V_{S_i}\right]_1^n - \frac{1}{\rho}\left[\left(y_n - y_{i-1}\right)V_{\beta_i}\right]_1^n + f_x = 0\\ \left[\sin\alpha_i \cdot V_{S_i}\right]_1^n + \frac{1}{\rho}\left[\left(x_n - x_{i-1}\right)V_{\beta_i}\right]_1^n + f_y = 0\end{aligned}\right\}, \tag{6}$$

де V_{Si} – поправки у вимірні відстані та V_{β_i} – поправки у виміряні кути, $\rho = 206265''$ – коефіцієнт переходу від градусної міри поправок V_{β_i} до радіан.

Для зрівноважування ходу необхідно визначити вагу виміряних відстаней та горизонтальних кутів. Якщо прийняти $c = m_\beta^2$, де m_β – середня квадратична похибка виміряного горизонтального кута [5], то вагу виміряної відстані P_{S_i} можна визначити за формулою

$$P_{S_i} = \frac{c}{m_{S_i}^2} = \frac{m_\beta^2}{m_{S_i}^2},$$

а вага виміряного кута P_{β_i} буде дорівнювати

$$P_{\beta_i} = \frac{c}{m_\beta^2} = \frac{m_\beta^2}{m_\beta^2} = 1.$$

Враховуючи особливість витягнутого полігонометричного ходу, можна повернути вісь абсцис вздовж замикаючої ходу, яка з'єднує пункти A та P' (рис. 3).

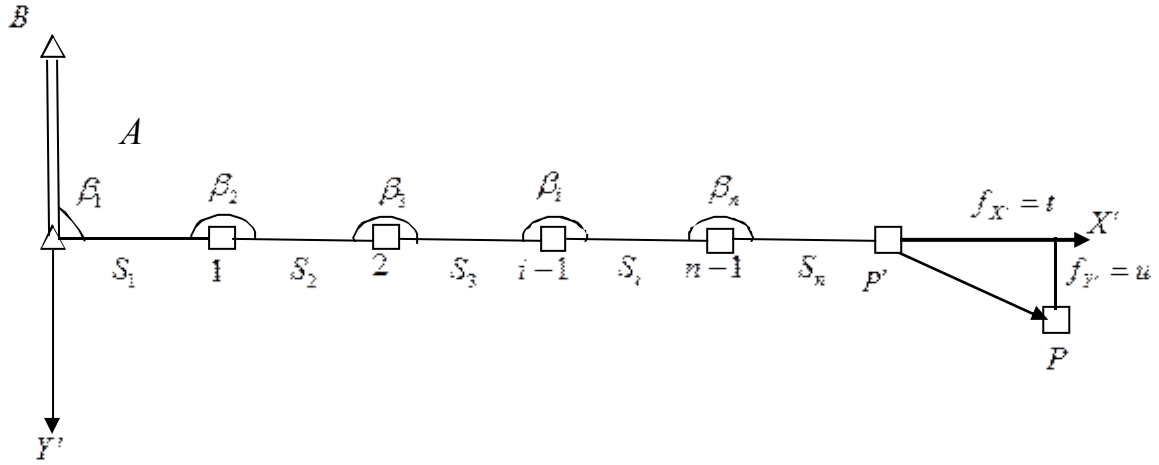


Рис. 3. Поворот осей координат

Тоді координати пунктів ходу (рис. 3) будуть дорівнювати

$$\left.\begin{aligned} X'_i &= [S_i]_1^i \\ Y'_i &= Y'_{i-1} + S_i \sin\alpha'_i \end{aligned}\right\},$$

де α'_i – дирекційні кути, які відраховуються від нової осі абсцис. Оскільки $\alpha'_i \approx 0$, $\sin\alpha'_i \approx 0$ та $Y'_0 = Y'_A = 0$, то $Y'_i \approx 0$. Тоді ординатами пунктів у новій системі координат можна знехтувати. Крім того, через $\alpha'_i \approx 0$ $\cos\alpha'_i \approx 1$. З урахуванням наведеного умовні рівняння поправок, згідно з виразом (6), набудуть вигляду:

$$\left.\begin{aligned} &[V_{Si}]_1^n + f_{X'} = 0 \\ &\frac{1}{\rho}\left[\left(\left[S_i\right]_1^n - \left[S_i\right]_1^{i-1}\right)\cdot V_{\beta_i}\right]_1^n + f_{Y'} = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (7)$$

З рис. 3 видно, що нев'язки по осях абсцис та ординат $f_{X'}$ та $f_{Y'}$ дорівнюють, відповідно, поздовжньому t і поперечному u зсувам пункту P відносно пункту P'. Планове положення P визначається координатами, обчисленими за формулами (2). Вказані зсуви визначаються через прирости координат та нев'язки, обчислені за виразами (3) та (5), згідно з формулами, наведеними в [4], а саме

$$\left.\begin{aligned} t &= \frac{f_x\left[\Delta x_i\right]_1^n + f_y\left[\Delta y_i\right]_1^n}{L} \\ u &= \frac{f_y\left[\Delta x_i\right]_1^n - f_x\left[\Delta y_i\right]_1^n}{L} \end{aligned}\right\},$$

де L – довжина замикаючої ходу, яка дорівнює

$$L = \sqrt{\left(\sum_1^n \Delta x_i\right)^2 + \left(\sum_1^n \Delta y_i\right)^2}.$$

З урахуванням наведеного умовні рівняння поправок (7) матимуть вигляд

$$\left.\begin{aligned} &[V_{Si}]_1^n + t = 0 \\ &\frac{1}{\rho}\left[\left(\left[S_i\right]_1^n - \left[S_i\right]_1^{i-1}\right)\cdot V_{\beta_i}\right]_1^n + u = 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (8)$$

Перший доданок другого рівняння формули (8) можна перетворити і записати (8) у вигляді

$$\left.\begin{aligned} &[V_{Si}]_1^n + t = 0 \\ &+\frac{1}{\rho}\left[\left[S_i\right]_i^n \cdot V_{\beta_i}\right]_1^n + u = 0 \end{aligned}\right\}.$$

Нормальні рівняння поправок можна скласти, користуючись даними, наведеними в таблиці. У загальному вигляді нормальні рівняння корелат записуються так [4]:

$$\left.\begin{aligned} &[qaa]\cdot K_1 + [qab]\cdot K_2 + t = 0 \\ &[qab]\cdot K_1 + [qbb]\cdot K_2 + u = 0 \end{aligned}\right\}.$$

Таблиця

Коефіцієнти умовних рівнянь поправок та обернені ваги

Тип вимірювань	**Лінійні вимірювання**				**Кутові вимірювання**			
Поправки	V_{S_1}	V_{S_2}	V_{S_i}	V_{Sn}	V_{β_1}	V_{β_2}	V_{β_i}	$V_{\beta n}$
Обернені ваги $q_j=1/P_j$ $j=\overline{1,2n}$	$\frac{m_{S_1}^2}{m_\beta^2}$	$\frac{m_{S_2}^2}{m_\beta^2}$	$\frac{m_{S_i}^2}{m_\beta^2}$	$\frac{m_{S_n}^2}{m_\beta^2}$	1	1	1	1
Коефіцієнти a_j	1	1	1	1	0	0	0	0
Коефіцієнти b_j	0	0	0	0	$\frac{1}{\rho}[S_i]_1^n$	$\frac{1}{\rho}[S_i]_2^n$	$\frac{1}{\rho}[S_i]_i^n$	$\frac{1}{\rho}S_n$

У цьому випадку, користуючись значеннями коефіцієнтів a_j, b_j та q_j, наведеними у таблиці, нормальні рівняння корелат набудуть вигляду:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{1}{m_\beta^2}\left[m_{S_i}^2\right]_1^n \cdot K_1 + t = 0 \\ &\frac{1}{\rho^2}\left[\left[S_i\right]_i^n \cdot \left[S_i\right]_i^n\right]_i^n \cdot K_2 + u = 0 \end{aligned}\right\}, \tag{9}$$

де $i=\overline{1,n}$. З виразу (9) визначаються корелати

$$K_1 = -m_\beta^2 \frac{t}{\left[m_{S_i}^2\right]_1^n},$$

$$K_2 = -\rho^2 \frac{u}{\left[\left[S_i\right]_i^n \cdot \left[S_i\right]_i^n\right]_i^n},$$

де $i=\overline{1,n}$. Загальна формула для переходу від корелат до поправок має вигляд [4]

$$V_i = q_i \cdot (a_i K_i + b_i K_2).$$

Тоді поправки у виміряні лінії визначаються згідно з виразом

$$V_{S_i} = -\frac{t}{\left[m_{S_i}^2\right]_1^n} m_{S_i}^2,$$

$$V_{\beta_i} = \rho \cdot u \frac{\left[S\right]^n}{\left[\left[S_i\right]_i^n \cdot \left[S_i\right]_i^n\right]_i^n},$$

де $i=\overline{1,n}$.

Висновки і пропозиції. Виконано теоретичне обґрунтування процедури зрівноваження полігонометричних мереж, побудованих зустрічними ходами. Наступним кроком має бути зрівноваження конкретної полігонометричної мережі з оцінювання точності планового положення пунктів.

Список використаних джерел

1. *Тревого І. С.* Точність полігонометрії: згущення мережі в залежності від точності кутових вимірювань / І. С. Тревого, В. О. Літинський, М. П. Газдаг // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – № 1. – С. 14–15.

2. *Пат. 93119*, Україна, МПК (2011.01), G01C7/00. Спосіб згущення геодезичної мережі / Д. Ф. Байса, В. О. Боровий, В. Г. Бурачек, П. Д. Крельштейн, С. Д. Крячок ; заявники та патентоволодарі Байса Д.Ф, Боровий В.О., Бурачек В.Г., Крельштейн П.Д., Крячок С.Д. – № a2009 06037 ; заявл. 11.06.2009 ; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.

3. *Крячок С. Д.* Побудова полігонометричних мереж зустрічними ходами / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 5. – С. 9–12.

4. *Островський Ф. Л.* Геодезія : підручник / А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Тарновський. – Львів : Львівська політехніка, 2007. – Ч. ІІ. – 508 с.

5. *Селиханович В. Г.* Практикум по геодезии / В. Г. Селиханович, В. Н. Козлова, Г. П. Логинова. − М. : Недра, 1970. − 288 с.

УДК 681.3.082.5

С.О. Нестеренко, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АЛГОРИТМ ЗШИВАННЯ ПОЛІГОНАЛЬНИХ СІТОК

С.А. Нестеренко, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АЛГОРИТМ СШИВАНИЯ ПОЛИГОНАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Serhii Nesterenko, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE ALGORITHM FOR POLYGONAL NETWORKS OF CROSS-LINKING

Стаття містить аналітичний виклад головних кроків алгоритму поєднання двох відкритих полігональних сіток третьою додатковою. Вирішені задачі пошуку вільного краю відкритої полісітки як просторової полілінії, визначення підмножин з'єднуваних вершин на обох вільних краях та побудови проміжної поєднальної сітки, яка описується способом Б. Баумгарта.

Ключові слова: *комп'ютерне геометричне моделювання, тривимірні поверхневі моделі, полігональна сітка, уявлення Баумгарта, цілісність.*

Статья содержит аналитическое изложение основных этапов алгоритма соединения двух открытых полигональных сетей третьей дополнительной. Решены задачи поиска свободного края открытой полисети как пространственной полилинии, определения подмножеств соединяемых вершин на обоих свободных краях и построения промежуточной соединяющей сети, которая описывается способом Б. Баумгарта.

Ключевые слова: *компьютерное геометрическое моделирование, трехмерные поверхностные модели, полигональная сеть, представление Баумгарта, целостность.*

The article contains an analytical summary of the main stages of the algorithm for connecting two open polygonal networks with third one. The problems of the search the open polymesh free edge as 3D polyline, a specific subset of connected vertices on both free ends and building the intermediate connecting network which is described in the B.Baumgart's representation are solved.

Key words: *computer geometric modeling, 3D surface models, polygonal networ, representation by Baumgart, integrity.*

Постановка проблеми. Побудова просторових поверхневих моделей на основі полігональних сіток (мереж) для реальних тіл нерідко виконується з використанням лазерних технологій [1]. Реальне тривимірне тіло освітлюється променем лазера, координати яскравої точки на поверхні тіла від лазерного променя фіксуються тим чи іншим способом і на базі масиву координат подібних точок будується математичний опис поверхні тіла у формі полігональної сітки (полісітки). Як показує практика [2], полігональні сітки, одержані таким способом, нерідко є розривними, тобто неоднозв'язними. Типовим варіантом результату є такий, коли замість єдиної замкненої полісітки, яка описувала б все тіло, ми маємо кілька незамкнених сегментів (відсіків) полісіток.

Звідси виникає загальна задача ремонту полісіток, що мають описані вище дефекти. Під цим розуміється одержання коректної моделі об'єкта у вигляді замкненої полігональної сітки. Цю роботу можна успішно виконати лише за умови наявності регулярного алгоритму з'єднання двох незамкнених полісіток. Дамо формальний аналітичний виклад подібного алгоритму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш детальний огляд алгоритмів та методів роботи з просторовими полігональними сітками наведено в [3]. Разом з тим слід зазначити, що ці автори апріорі вважають просторові полігональні моделі цілісними та внутрішньо несуперечними. Проблема ремонту просторової сітки, який має на меті надання останній цілісності, не розглядається взагалі.

Деякі технічні аспекти надійного одержання множини координат просторових точок при лазерному скануванні реальних об'єктів обговорюються в [1] та [2]. Яким чином результати замірів мають перетворюватись в адекватну 3D-модель, придатну для комп'ютерного моделювання, автори не зазначають.

Таким чином, задача опису регулярного алгоритму відновлення цілісності полігональних сіток поки не знайшла висвітлення в літературі і тому є актуальною.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення і формальний опис алгоритму поєднання двох відкритих полігональних сіток за допомогою додаткової третьої.

Виклад основного матеріалу.

Побудова просторової полілінії вільного краю відкритої полісітки.

Припустимо, що дана відкрита (незамкнена) полігональна сітка, тобто така, яка має вільний край. Першою підзадачею алгоритму, що описується, є одержання опису просторової полілінії, яка і є, власне, вільним краєм. Умовою приналежності ребра до вільного краю є те, що у нього з одного боку розташована грань полісітки, а з протилежного – нічого, тобто точки вільного модельного простору. Таким чином, для пошуку полілінії вільного краю нам потрібен спосіб опису полісіток, адекватний поставленій задачі. З досвіду побудови поверхневих моделей тривимірних тіл найбільш функціональною виглядає [3] модель Б. Баумгарта, яка відома також як «крилата» модель.

Згідно з [4], така модель спирається на класичне використання таблиць вершин, ребер та граней полігональної сітки. Таблиця вершин є масивом тривимірних точок

$$V = \{V_i(x_i, y_i, z_i) \mid i \in (1...n)\}, \quad (1)$$

де x_i, y_i, z_i – декартові координати вершини.

Другою, найбільш інформативною, частиною моделі в уявленні Б. Баумгарта є таблиця ребер, доповнена топологічною інформацією. Зміст останньої пояснимо таким чином. Традиційна репрезентація ребра зводиться до простої пари інцидентних вершин, кожна з яких однозначно визначається індексом $i \in (1...n)$ з формули (1). Б. Баумгарт доповнив це уявлення топологічними даними, для використання яких були введені додаткові обмеження логічної моделі полігональної сітки:

– ребро ***a*** (рис. 1) є орієнтованим від початкової вершини ***M*** до кінцевої ***N***. Порядок вершин неявно задається порядком запису термінальних вершин ребра в елементі масиву ребер;

– порядок обходу ребер кожної грані – за годинниковою стрілкою, дивлячись ззовні тіла.

Додаткові топологічні дані, що були запропоновані [4] Б. Баумгартом, пояснюються схемою на рис. 1.

Рис. 1. Ребро полісітки в уявленні Б. Баумгарта

Відносно традиційного варіанта, коли ребро $a \leftrightarrow \{M; N\}$ в цьому випадку суттєвими доповненнями є:

– з орієнтованим ребром ***MN*** пов'язуються грані ***R*** та ***L***, розташовані відповідно справа та зліва від ребра. На практиці вказуються або індекси ***i*** цих граней ($i \in [1; G_{max}]$, (G_{max} – кількість граней полісітки), або вказівники на них. Домовимось використовувати константу NULL як значення вказівника на будь-який відсутній елемент полігональної сітки;

– з ребром ***MN*** зв'язуються інцидентні йому сусідні ребра правої та лівої граней, які передують йому (***d*** та ***c***) або слідують за ним (***b*** та ***e***) в порядку обходу відповідної грані.

Отже, множина ребер полігональної сітки згідно з Баумгартом може бути описана як

$$\boldsymbol{E} = \{\{\boldsymbol{a}_i; \boldsymbol{M}_i; \boldsymbol{N}_i ; \boldsymbol{b}_i ; \boldsymbol{c}_i ; \boldsymbol{d}_i ; \boldsymbol{e}_i ; \boldsymbol{L}_i ; \boldsymbol{R}_i \}_i \mid \boldsymbol{i} \in [1; \boldsymbol{G}_{max}]\}, \quad (2)$$

де сенс згаданих змінних ясний із викладеного вище.

Множина (2) програмно відображається на таблицю ребер, елементами якої є записи зі структурою, що відповідає параметрам ребра в уявленні Баумгарта. Ми використаємо таку логічну модель полісітки як найбільш адекватну поставленій задачі.

Тепер припустимо, що дана відкрита (незамкнена) однозв'язна полігональна сітка, тобто така, яка має вільний край (рис.2).

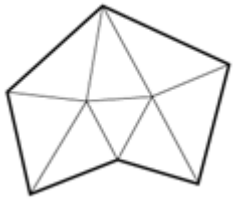


Рис. 2. Полісітка з відкритим краєм

Для пошуку множини вершин просторової полілінії вільного краю можна запропонувати таку послідовність дій.

Початок алгоритму 1.

Крок 1. Знайти будь-яке ребро $\boldsymbol{E_0}$, в якого відсутня грань чи справа, чи зліва. Критерій пошуку такого ребра в нотації мови програмування С:

$$((\boldsymbol{L} == \text{NULL}) \wedge (\boldsymbol{R} == \text{NULL})) == \text{TRUE}. \quad (3)$$

Запам'ятати початкову вершину $\boldsymbol{V_0}$ цього ребра і записати її до масиву $\boldsymbol{M_{Vfree}}$ вершин полілінії вільного краю полісітки. Очевидно, що масив $\boldsymbol{M_{Vfree}}$ є фізичною реалізацією множини вершин вільного контуру

$$\boldsymbol{V_{free}} = \{\boldsymbol{V_{free\,i}} \mid \boldsymbol{i} \in [1 \ldots \boldsymbol{k}]\}, \quad (4)$$

де $\boldsymbol{k}$ – кількість вершин вільного контуру.

Прийняти $\boldsymbol{V_0}$ як поточну початкову вершину $\boldsymbol{V_k}$ поточного ребра, яке розглядається.

Крок 2. Перейти на поточному ребрі до протилежної вершини ребра $\boldsymbol{V_{k+1}}$ і записати його до масиву $\boldsymbol{M_{Vfree}}$ вершин полілінії вільного краю полісітки. Якщо $\boldsymbol{V_{k+1}} = = \boldsymbol{V_0}$, вийти з циклу на точку 4. Якщо ні, то перебором усіх ребер, які інцидентні цій вершині, знайти ребро, що відповідає умові (3).

Крок 3. Прийняти $\boldsymbol{V_{k+1}}$ як $\boldsymbol{V_k}$ наступної ітерації і перейти на крок 2.

4. Точка виходу з циклу.

Кінець алгоритму 1.

Запропонований алгоритм забезпечує послідовний обхід відкритої полісітки ребрами вільного краю та формує масив $\boldsymbol{M_{Vfree}}$ вершин полілінії вільного краю полісітки. Пари вершин цього масиву відповідають кінцевим вершинам ребер вільного краю. Таким чином, задача побудови полілінії останнього вирішена.

Виділення множини з'єднуваних вершин у парі крайових контурів.

Постановка задачі. Розглянемо пару вільних країв двох полісіток, що мають бути поєднані описуваним алгоритмом (рис. 3). З очевидних практичних міркувань можна сформулювати обмеження на множину вершин вільних країв першої та другої полісітки, що будуть поєднуватись додатковою полісіткою: нею мають «зшиватись» вершини контурів, просторово найближчі одні до одних. Такі вершини показані на рис. 3 білими точками, на відміну від тих, які в поєднанні задіяні не будуть, і вони показані чорними точками.

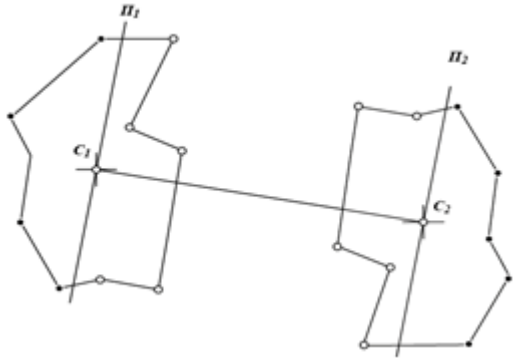


Рис. 3. Пара вільних контурів (проекція на площину малюнка): ○ – вершини, які будуть поєднуватись; ● – вершини, які не будуть поєднуватись

Наведемо евристичний алгоритм, за яким у множинах V_{free}^{1} та V_{free}^{2} вершин вільних контурів 1 і 2 виділяються підмножини V_{free}^{1c} та V_{free}^{2c} вершин, придатних для подальшого поєднання (показані на рис. 3 білими точками). Ідея алгоритму полягає в наступному.

Для кожного вільного контуру знаходиться умовний центр C і тим самим визначається пара міжцентрових векторів $\overline{C_1C_2}$ та $\overline{C_2C_1}$. Вектор $\overline{C_1C_2}$ визначає перпендикулярну йому площину $\boldsymbol{П_1}$, яка проходить через точку $\boldsymbol{C_1}$. Аналогічно через вектор $\overline{C_2C_1}$ і точку $\boldsymbol{C_2}$ визначається площина $\boldsymbol{П_2}$. На рис. 3 показані сліди цих площин на площині рисунка. Подальші дії стосуються визначення того, з якої сторони відповідної площини знаходяться точки множин V_{free}^{1} та V_{free}^{2}. У підмножини V_{free}^{1c} та V_{free}^{2c} мають входити тільки точки, розташовані з додаваної сторони відповідної площини.

Початок алгоритму 2.

Крок 1. Обчислити координати усереднених точок (умовних центрів) $\boldsymbol{C_1}$ та $\boldsymbol{C_2}$ вільних контурів за формулою (наводиться для одного контуру):

$$C = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} V_i, i \in [1...k], \tag{5}$$

де V_i – радіус-вектор i-ї вершини.

Крок 2. Обчислити міжцентрові вектори

$$\boldsymbol{a_1 = C_2 - C_1;\ a_2 = C_1 - C_2}. \tag{6}$$

Крок 3. Визначити рівняння площин $\boldsymbol{П_1}$ і $\boldsymbol{П_2}$:

– для площини $\boldsymbol{П_1}$

$$\boldsymbol{(P_{П1}-C_1)\cdot a_1 = 0}; \tag{7а}$$

– для площини $\boldsymbol{П_2}$

$$\boldsymbol{(P_{П2}-C_2)\cdot a_2 = 0}, \tag{7б}$$

де $\boldsymbol{P_{П1}}$ – довільна точка площини $\boldsymbol{П_1}$;

$\boldsymbol{P_{П2}}$ – довільна точка площини $\boldsymbol{П_2}$.

Крок 4. Перебором точок множини $\{V_{free}^{1}\}$ сформувати підмножину $\{V_{free}^{1c}\}$ за умовою $\boldsymbol{(V_{free\,i}^{1c} - C_1)\cdot a_1 > 0}$.

Крок 5. Перебором точок множини $\{V_{free}^{2}\}$ сформувати підмножину $\{V_{free}^{2c}\}$ за умовою $\boldsymbol{(V_{free\,i}^{2c} - C_2)\cdot a_2 > 0}$.

Кінець алгоритму 2.

Побудова поєднувальної полігональної сітки

Попередній розділ як результат мав дві просторові полілінії (опорні лінії) $\boldsymbol{A}$ та $\boldsymbol{B}$ (рис. 4, *а*), на основі яких ми можемо побудувати проміжну полігональну сітку (ППС), що є метою цього дослідження. Без втрати геометричної загальності з метою побудови простого алгоритму в подальшому викладі будемо спиратись на спрощену топологічно

тотожну [5] геометричну модель цих ліній (рис. 4, *б*), в якій вершини рівномірно розташовані на прямій, паралельній довільній осі ***x***, а повна модельна довжина ліній ***A*** та ***B*** умовно приймається однаковою. Лінії, що поєднуватимуть вершини ліній ***A*** та ***B***, наприклад A_1-B_1, умовно назвемо «меридіани» полісітки, яку ми проектуємо. Також у подальшому завжди вважатимемо лінією ***A*** ту, яка має кількість вершин ***N*** більшу, або рівну кількості вершин ***M*** лінії ***B***.

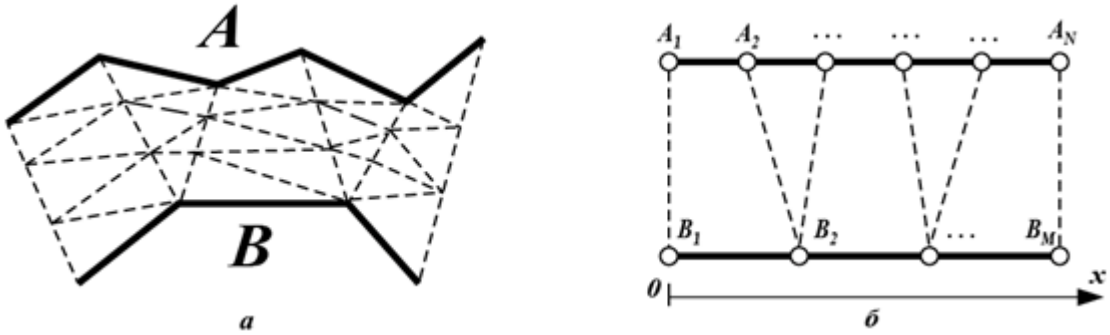


Рис. 4. Схеми до побудови проміжної поєднувальної сітки: а – бажаний результат; б – топологічно тотожна модель для побудови проміжної полісітки; показані меридіани

Першою підзадачею в побудові ППС є визначення пар вершин ліній ***A*** та ***B***, поєднання яких формує множину меридіанів ППС.

Як видно з рис. 4, *б*, меридіани мають поєднувати всі вершини $A_i \mid i \in [1\ldots N]$ з усіма вершинами $B_j \mid j \in [1\ldots M]$. Очевидно, що при $N>M$ виконання цієї умови приводить до того, що кожній вершині $A_i \mid i \in [1\ldots N]$ завжди інцидентний рівно один меридіан, а на лінії ***B*** будуть існувати вершини, інцидентні кільком меридіанам. Для визначення матриці інцидентності меридіанів введемо модельну метрику розташування вершин вздовж осі ***x*** (рис. 4, *б*). За цією метрикою будемо вважати повну модельну довжину ліній ***A*** та ***B*** рівній $(N-1)\cdot(M-1)$, а ***x***-координати вершин A_i становлять арифметичну прогресію $(M-1)\cdot(i-1) \mid i \in [1\ldots N]$. Аналогічно, ***x***-координати вершин B_j становлять арифметичну прогресію $(N-1)*(j-1) \mid j \in [1\ldots M]$. Як критерій існування меридіана, який поєднує вершину A_i з вершиною B_j, приймемо мінімальність модельної відстані між ними. Іншими словами, при фіксованій вершині $A_i \mid i \in [1\ldots N]$ інцидентний їй меридіан буде проводитись до вершини лінії ***B*** з таким індексом $j \in [1\ldots M]$, за якого модельна відстань

$$D_{ij} = |x_{A_i} - x_{B_j}| = |(M-1)\cdot(i-1) - (N-1)\cdot(j-1)|$$

буде мінімальною.

Назвемо матрицею меридіанів ***H*** таку матрицю $\{H_{ij}\} \mid i \in [1\ldots N], \mid j \in [1\ldots M]$, в якій $H_{ij} = 1$, якщо існує меридіан між A_i та Bj, в іншому випадку $H_{ij} = 0$. Очевидно, що побудова такої матриці може бути виконана двома вкладеними циклами (в нотації мови С):

```
// Початок програмного фрагмента.
Всі елементи {Hij}=0;
for( i=1; i< N; i++) {
   Dmin = (N-1)*(M-1);
   for(j=1; j<M; j++)
       Dij = abs((M-1)*(i-1) - (N-1)*(j-1));
       If (Dij<=Dmin)
            Dmin = Dij;
       Else {j - -; break;}
   Hij = 1; // меридіан буде проведений між Ai та Bj
}
// Кінець програмного фрагмента.
```

Таким чином, підзадачу побудови множини меридіанів проміжної з'єднувальної полісітки можна вважати вирішеною.

Другою підзадачею будемо вважати побудову матриці вершин ***P*** проміжної сітки. Оскільки канонічна поверхнева модель у вигляді полігональних сіток завжди оперує [6], крім іншого, таблицею вершин $\{V_k\}=\{x_k, y_k, z_k\}$ (де k – індекс вершини полісітки), то елементами ***P*** можуть бути просто індекси тих вершин, які входитимуть до ППС.

Побудову ***P*** пояснимо на конкретному прикладі ППС з M=6 і N=4 (рис. 5).

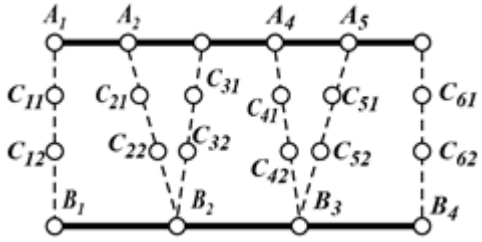


*Рис. 5. Схема до побудови матриці вершин **P** проміжної полісітки*

Спочатку в цій матриці ***P*** визначені тільки перший та останній рядки, в яких перелічуються вершини полілініЙ ***A*** та ***B***:

$A_1\ A_2\ A_3\ A_4\ A_5\ A_6$

? ? ? ? ? ?

… … … … … …

? ? ? ? ? ?

$B_1\ B_2\ B_2\ B_3\ B_3\ B_4$

Треба розділити меридіани на менші відрізки додатковими точками ***C***, індекси яких ми будемо розміщувати в додаткових проміжних рядках матриці ***P***.

Кількість додаткових проміжних рядків матриці ***P*** дорівнює кількості додаткових точок на кожному меридіані, і вона може призначатись з практичних міркувань. Одним з можливих критеріїв може бути намагання забезпечити довжину часткового відрізка меридіана (скажімо, A_1-C_{11} на рис. 5) можливо близькою до середньої довжини ребра полісіток, що поєднуються.

Просторові координати проміжних вершин розраховуються, виходячи з відомих просторових координат крайніх точок відповідного меридіана та визначеної кількості точок ділення ***C***. Кожна розрахована нова вершина вноситься до таблиці вершин $\{V_k\}$, а її індекс – до матриці ***P***.

Таким чином, друга підзадача може вважатись вирішеною.

Третя підзадача – формування нових ребер та граней ППС. Вона досить тривіальна і вирішується на основі побудованої матриці вершин ***P***.

Формування нових ребер ППС можна виконати процедурою обходу матриці вершин з послідовним розглядом пар сусідніх вершин як вздовж меридіанів ППС, так і в перпендикулярному напрямку. Кожна з названих пар вершин є основою для внесення запису про нове ребро в таблицю ребер ***E*** (див. (2)). Треба зазначити, що на цьому етапі роботи елементи L_i та R_i, в записах про нове ребро, які є індексами правої та лівої граней, тимчасово є невизначеними. Причина цього в тому, що в таблиці граней полігональної моделі об'єднаної полісітки поки що нема записів про згадані грані. Після внесення цих нових записів у таблицю граней потрібно повернутись до таблиці ребер та доповнити записи нових ребер відповідними даними.

Формування нових граней ППС також виконується послідовним розглядом четвірок сусідніх компонентів матриці Р. Наприклад (рис. 5), четвірка вершин A_1-A_2-C_{21}-C_{11} дозволяє сформувати новий запис про першу нову грань ППС, потім четвірка A_2-A_3-C_{31}-C_{21} – про сусідню направо і т. ін.

Таким чином, усі кроки побудови проміжної полісітки розглянуто, що відкриває можливість подальшої програмної реалізації цього алгоритму в системах тривимірної комп'ютерної графіки.

Висновки і пропозиції.

1. Поєднання («зшивання») двох полігональних сіток через побудову третьої, проміжної полісітки може бути виконана за регулярним алгоритмом, основні кроки якого викладені у статті.

2. Алгоритм використовує як складові частини прийоми теорії множин та векторної алгебри, тому для його успішної програмної реалізації потрібно забезпечити доступ до відповідних математичних бібліотек.

3. У випадку програмної реалізації цей алгоритм може бути використаний як складова частина технології автоматизованої побудови поверхневих моделей реальних об'єктів з використанням тривимірного сканування останніх.

Список використаних джерел

1. *HDS Laser* Scanners & SW. Leica Geosystems Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.leica-geosystems.com/en/HDS-Laser-Scanners-SW_5570.htm.

2. *Bloomenthal J.* Convolution Surfaces / J. Bloomenthal, K. Shoemake // SIGGRAPH'91, Computer Graphics. – 1991. – Vol. 25, № 4. – P. 251–256.

3. *Шикин Е.* Компьютерная графика. Полигональные модели / Е. Шикин, А. Боресков. – М. : Диалог-МИФИ, 2000. – 464 с.

4. *Baumgart, B.* Winged Edge Polyhedron Representation. Technical Report. – Stanford University, Stanford, CA, USA. – 1972.

5. *Бронштейн И. Н.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1981. – 720 с.

6. *Фоли Д. Ж.* Основы интерактивной машинной графики : в 2 кн. Кн. 2 / Д. Ж. Фоли , Андрис вэн Дэм ; пер. с англ. В. А. Галактионова, Ю. М. Лазутина, О. Н. Родинко. – М. : Мир, 1985. – 368 с.

УДК 004.056.5:004.057.42

В.В. Соломаха, старш. викладач
М.В. Верьовко, аспірант
І.В. Соломаха, канд. екон. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ СИМЕТРИЧНИХ КРИПТОСИСТЕМ

В.В. Соломаха, ст. преподаватель
М.В. Веревко, аспирант
И.В. Соломаха, канд. экон. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СИММЕТРИЧНЫХ КРИПТОСИСТЕМ

Valerii Solomakha, senior teacher
Mariia Verovko, PhD student
Iryna Solomakha, PhD in Economics
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE STUDY OF ALGORITHMS FOR SYMMETRIC CRYPTOSYSTEMS

Наведено результати практичних порівняльних досліджень сучасних алгоритмів симетричних криптосистем DES і IDEA по швидкодії під час роботи з різним об'ємом інформації і в різних режимах.

Ключові слова: *алгоритм шифрування, секретність ключа, криптосистема, швидкодія.*

Приведены результаты практических сравнительных исследований современных алгоритмов симметричных криптосистем DES и IDEA по быстродействию при работе с различным объемом информации и в различных режимах.

Ключевые слова: *алгоритм шифрования, секретность ключа, криптосистема, быстродействие.*

The article contains the results of comparative studies of modern algorithms of symmetric cryptosystem DES and IDEA on performance when working with different amount of information and in different modes.

Key words: *the encryption algorithm, the secret key, cryptosystem, performance.*

Постановка задачі. Метою дослідження було порівняння роботи сучасних алгоритмів симетричних криптосистем у ході шифрування (розшифрування) різних об'ємів інформації і при різних режимах роботи криптосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок у дослідження криптографічних алгоритмів останнім часом зробили як зарубіжні науковці (Джеймс Мессі (Університет ЕТН, Швейцарія), Е. Фуджісакі, Т. Окамото (Японія)), так і вітчизняні (В. Мельніков, Б. Ключевський, П. Ісаєв, Д. Зегжда та інші). Переважна кількість наукових робіт з питань відкритих криптографічних систем присвячена принципам функціонування блокових і потокових шифрів, в яких практично не порівнюють їх характеристики. Так, не виявлено порівнянь швидкості роботи різних режимів блокових алгоритмів і під час шифрування різних об'ємів інформації.

Мета статті. Існує безліч (не менше двох десятків) алгоритмів симетричних шифрів, істотними параметрами яких є:

– стійкість;
– довжина ключа;
– число раундів;
– довжина оброблюваного блока;
– складність апаратної/програмної реалізації;
– складність перетворення.

Метою дослідження було порівняння швидкодії алгоритмів DES і IDEA при шифруванні (розшифруванні) різних об'ємів інформації при різних режимах роботи криптосистем. Для цього використовувалася комп'ютерна система вивчення методів і засобів апаратно-програмного захисту інформації CRYPTO, яка написана на мові JAVA та дозволяє досліджувати криптографічні алгоритми і протоколи, формальні політики безпеки [5].

Виклад основного матеріалу. Історично першими з'явилися симетричні алгоритми шифрування. Основою секретності цих алгоритмів є секретність симетричного ключа, який має бути відомий як відправнику повідомлення, так і одержувачеві [5]. Схема шифрування з використанням симетричного ключа зображена на рис. 1.

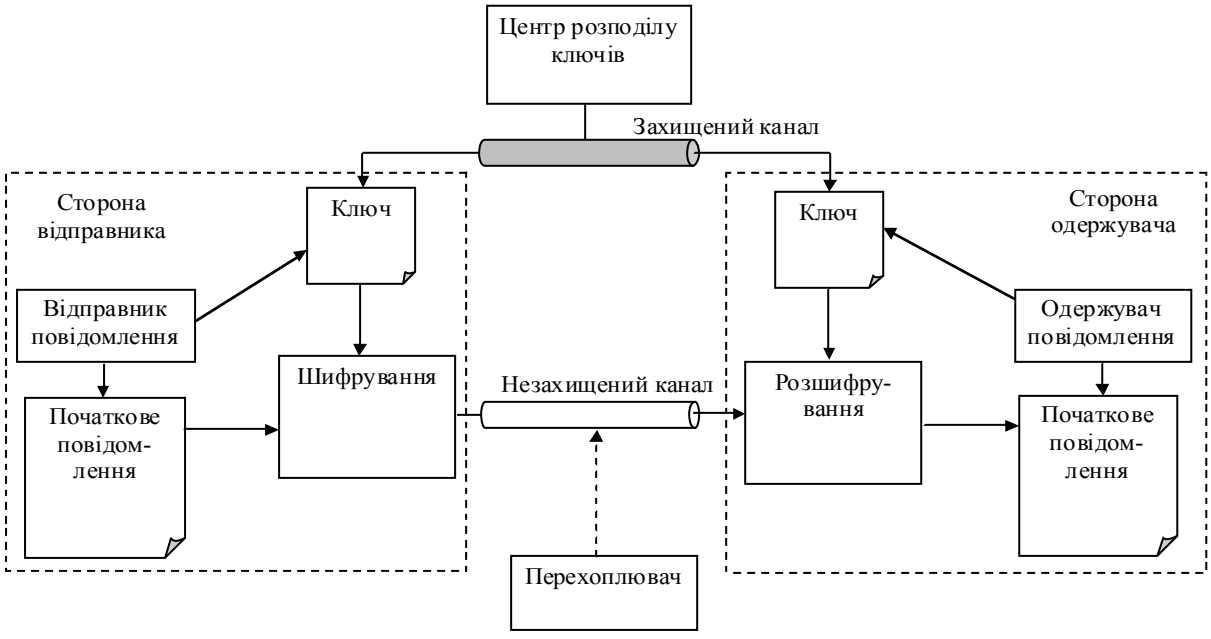


Рис. 1. Схема симетричного шифрування

Серед сучасних алгоритмів шифрування з симетричним ключем відомі і широко використовуються DES (Data Encryption Standard), IDEA, ГОСТ 28147-89, Blowfish, RC5 та інші [6].

Симетричні алгоритми шифрування ґрунтуються на застосуванні двох способів перетворення біт даних:

– дифузія;

– конфузія.

Дифузія виконує роль розсіювання статистичних особливостей відкритого тексту по широкому діапазону статистичних характеристик шифрованого тексту. Це досягається тим, що значення кожного елементу відкритого тексту впливає на значення багатьох елементів шифрованого тексту або, що виявляється еквівалентним сказаному, будь-який з елементів шифрованого тексту залежить від безлічі елементів відкритого тексту. В результаті застосування дифузії частотні характеристики використання окремих символів і послідовностей символів повинні ставати близькими до рівномірних.

Конфузія є механізмом складних підстановок, які утрудняють встановлення статистичного взаємозв'язку між шифрованим текстом і ключем. Метою застосування конфузії є протистояння тексту.

Перевагою симетричних алгоритмів є висока швидкодія і мала довжина ключа в порівнянні з ключами в алгоритмів з відкритим ключем.

Криптосистема DES (Data Encryption Standard):

розробник:	IBM
створено:	1977 р.
опубліковано:	1977 р.
розмір ключа:	56 біт
розмір блока:	64 біт
число раундів:	16

тип: мережа Фейстеля

режими роботи: електронна кодова книга (ECB),

зчеплення блоків (CBC),

зворотний зв'язок по шифротексту (CFB),

зворотний зв'язок по виходу (OFB).

Алгоритм DES використовує комбінацію підстановок і перестановок. DES здійснює шифрування 64-бітових блоків даних за допомогою 64-бітового ключа, в якому значущими є 56 біт (інші 8 біт – перевірочні біти для контролю на парність). Дешифрування в DES є операцією, зворотною шифруванню, і виконується через виконання операції шифрування у зворотній послідовності [1].

Схема шифрування алгоритму DES наведена на рис. 2, а детальна схема – на рис. 3.

Рис. 2. Схема шифрування DES

Початковий текст – блок 64 біт.

Шифрування (рис. 2):

– початкова перестановка;

– 16 циклів шифрування;

– кінцева перестановка.

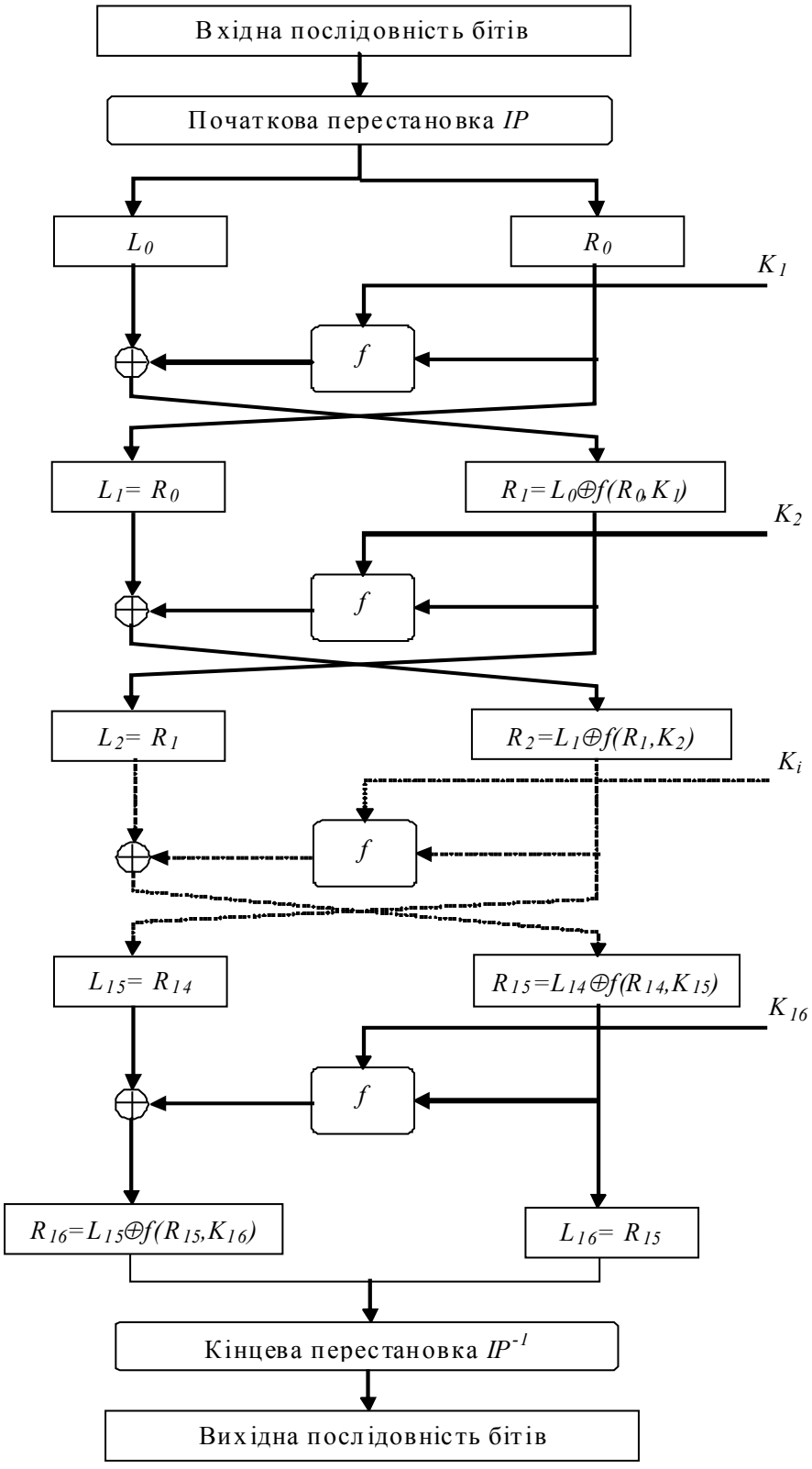


Рис. 3. Детальна схема алгоритму DES

Шифрований текст – блок 64 біт.

Детальна схема алгоритму DES наведена на рис. 3, де:

L_i, R_i, i=1,2… ліва та права половини 64-бітового блоку;

K_i – 48-бітові ключі;

f – функція шифрування;

IP – початкова перестановка;

IP^{-1} – кінцева перестановка.

Криптосистема IDEA (International Data Encryption Algorithm):

розробник:	Ascom
створено:	1991 р.
опубліковано:	1991 р.
розмір ключа:	128 біт
розмір блока:	64 біт
число раундів:	8,5

тип: модифікація мережі Фейстеля

IDEA – міжнародний симетричний блоковий алгоритм шифрування, запатентований швейцарською фірмою Ascom. Застосовується в пакеті програм шифрування PGP і в його вільній альтернативі GnuPG [2].

Шифрування представлено на рис. 4: – 8 однакових раундів шифрування;

– 1 вихідне перетворення.

Початковий текст ділиться на блоки по 64 біта.

Кожен такий блок ділиться на чотири підблоки по 16 біт кожен (D_1, D_2, D_3, D_4).

У кожному раунді використовуються свої подключі згідно з таблицею подключів.

Над 16-бітовими підключами і підблоками відкритого тексту робляться такі операції:

– множення за модулем $2^{16 + 1} = 65537$, причому замість нуля використовується 2^{16};

– складання за модулем 2^{16};

– побітове складання за модулем 2.

У кінці кожного раунду шифрування є чотири 16-бітові підблоки, які потім використовуються як вхідні підблоки для наступного раунду шифрування.

Вихідне перетворення є укороченим раундом: чотири 16-бітові підблоки на виході восьмого раунду і чотири відповідних підключа піддаються операціям:

– множення за модулем 216 + 1;

– складання за модулем 2^{16}.

Після виконання вихідного перетворення конкатенація підблоків D_1', D_2', D_3' і D_4' є зашифрованим текстом.

Потім береться наступний 64-бітовий блок відкритого тексту й алгоритм шифрування повторюється, поки не зашифруються всі 64-бітові блоки початкового тексту.

З 128-бітового ключа генерується:

– для кожного з восьми раундів шифрування по шість 16-бітових підключів;

– а для вихідного перетворення чотири 16-бітових підключі.

Всього знадобиться $52 = 8 \cdot 6 + 4$ різних підключа по 16 біт кожен.

128-бітовий ключ розбивається на вісім 16-бітових блоків. Це будуть перші вісім підключів по 16 біт кожен. Цей 128-бітовий ключ циклічно зрушується вліво на 25 позицій. Після цього новий 128-бітовий блок знову розбивається на вісім 16-бітових блоків. Це вже наступні вісім підключів по 16 біт кожен. Процедура циклічного зрушення і розбиття на блоки триває доти, поки не будуть згенеровані всі 52 16-бітних підключа.

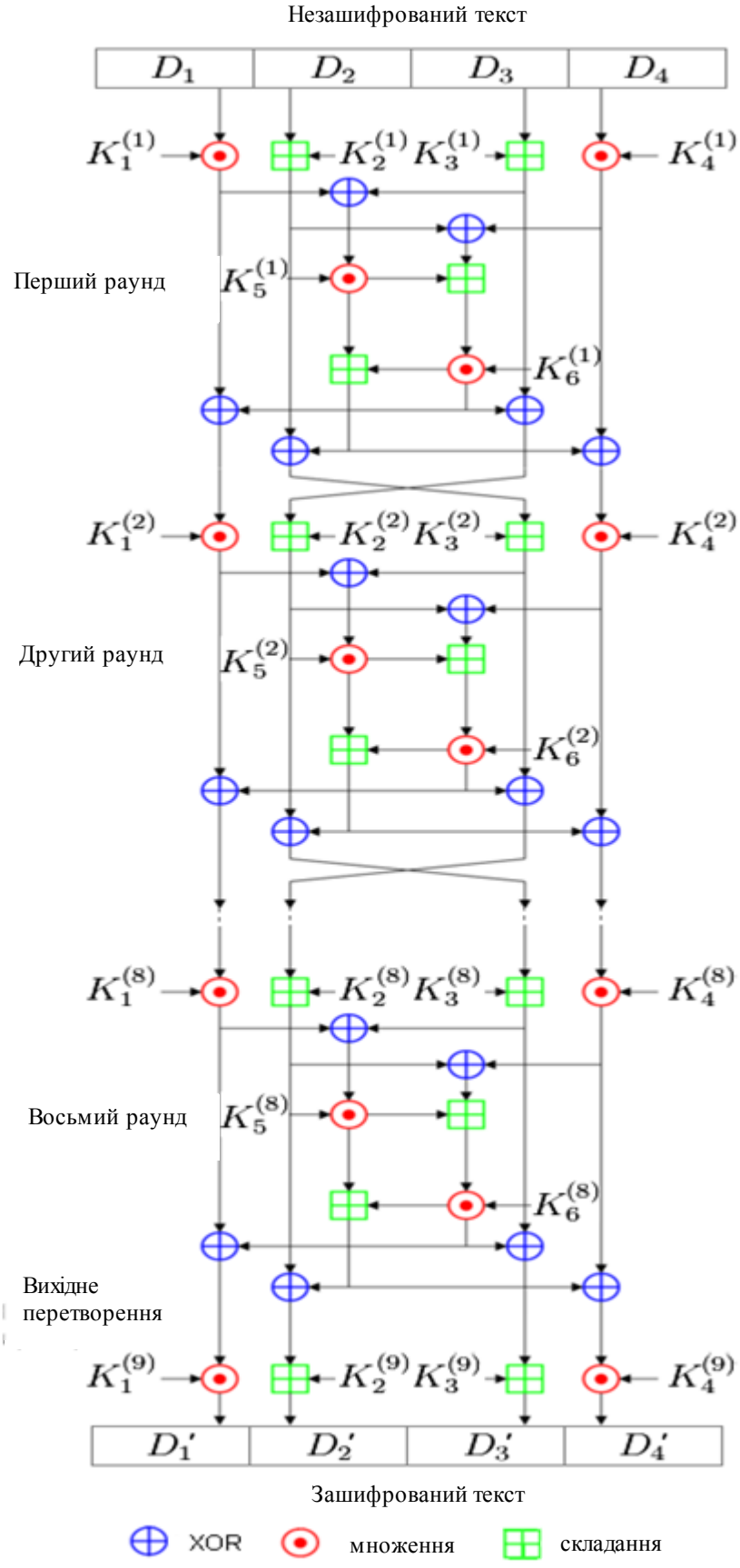


Рис. 4. Схема алгоритму IDEA

Порівняння алгоритмів за основними параметрами наведено в табл. 1:

Таблиця 1

Параметри алгоритмів

Алгоритм	Розмір ключа, біт	Довжина блока, біт	Число раундів	Основні операції
DES	56	64	16	Підстановка, перестановка, побітове АБО, що виключає
IDEA	128	64	8	Множення за модулем $2^{16}+1$, складання за модулем 2^{16}, побітове АБО, що виключає

Джерело: [2].

Порівняння симетричних та асиметричних криптосистем [4]:

Головною перевагою криптосистем з відкритим ключем є їх потенційно висока безпека: не треба передавати значення секретних ключів.

У симетричних криптосистемах є небезпека розкриття секретного ключа під час передачі.

Недоліки асиметричних криптосистем:

– генерація нових ключів заснована на генерації великих простих чисел, а перевірка простоти чисел займає багато процесорного часу;

– процедури, пов'язані з піднесенням до степеня багатозначного числа, досить громіздкі.

Тому швидкодія криптосистем з відкритим ключем у сотні і більше разів менша швидкодії симетричних криптосистем із секретним ключем.

Криптосистеми реалізуються як апаратно, так і програмно.

Для апаратної реалізації розроблено спеціальні процесори на (СВІС), що дозволяють виконувати піднесення великих чисел до колосально великого степеня за модулем N за відносно короткий час.

Кращими з них, які серійно випускаються, є процесори фірми CYLINK, що виконують 1024-бітове шифрування RSA.

Результати досліджень. Швидкодії алгоритмів DES та IDEA під часи шифрування та розшифрування різних об'ємів інформації та при різних режимах роботи криптосистем наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Час роботи криптосистем у різних режимах, мс

Криптосистема	Процес	Об'єм інформації, байт			Об'єм інформації, байт			Об'єм інформації, байт		
		1000	10 000	100 000	1000	10 000	100 000	1000	10 000	100 000
IDEA	шифр	6	35	60	2	6	24	0	17	31
	розшифр	6	29	57	1	2	20	0	15	16
DES	шифр	64	264	511	7	21	152	0	40	230
	розшифр	57	255	498	2	18	149	0	38	218
		зворотний зв'язок по виходу			зчеплення блоків			електронна кодова книга		

Висновки і пропозиції. 1. Алгоритм IDEA працює швидше, ніж DES, особливо при великих об'ємах інформації, що обумовлено використанням більш швидких операцій множення за модулем $2^{16}+1$, складання за модулем 2^{16}.

2. Розшифрування робиться швидше за шифрування.

3. Найшвидше працюють алгоритми в режимі зчеплення блоків.

4. Недоліками алгоритму IDEA є те, що він запатентований, тобто не може вільно поширюватися, а також у ньому не передбачена можливість збільшення ключа.

5. Апаратна реалізація асиметричної криптосистеми ≈ в 1000 разів повільніше за апаратну реалізацію симетричного криптоалгоритму.

6. Програмна реалізація RSA ≈ в 100 разів повільніше DES.

З розвитком комп'ютерних технологій ці оцінки можуть дещо змінюватися, але асиметрична криптосистема ніколи не досягне швидкодії симетричних криптосистем [6].

Список використаних джерел

1. *Зегжда Д. П.* Основы безопасности информационных систем / Д. П. Зегжда, А. М. Ивашко. – М. : Горячая линия–Телеком, 2000. – 452 с.

2. *Диффи У.* Защищенность и имитостойкость. Введение в криптографию / У. Диффи, М. Э. Хэллмэн // ТИИЭР. – 1979. – Т. 67, № 3. – С. 71–109.

3. *Домашев А. В.* Программирование алгоритмов защиты информации / А. В. Домашев, В. О. Попов, Д. И. Правиков. – М. : Нолидж, 2000. – 279 с.

4. *Мельников В. В.* Защита информации в компьютерных системах / В. В. Мельников. – М. : Финансы и статистика, 1997. – 368 с.

5. *Романец Ю. В.* Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю. В. Романец, П. А. Тимофеев, В. Ф. Шаньгин. – М. : Радио и связь, 1999. – 328 с.

6. *Столингс В.* Криптография и защита сетей / В. Столингс. – М. : Вильямс, 2001. – 672 с.

7. *Ященко В. В.* Введение в криптографию / В. В. Ященко. – СПб. : Питер, 2001. – 288 с.

UDC 004.451.9

Volodymyr Kazymyr, Doctor of Technical Sciences
Ihor Karpachev, PhD student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

FUNCTIONAL SECURITY IN AN ANDROID MOBILE ARCHITECTURE

В.В. Казимир, д-р техн. наук
І.І. Карпачев, аспірант
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА АРХІТЕКТУРИ МОБІЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID

В.В. Казимир, д-р техн. наук
И.И. Карпачев, аспирант
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АРХИТЕКТУРЫ МОБИЛЬНОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ANDROID

Android is currently the most popular operating system used on smartphones. However, users feel their private information is at threat, facing a rapidly increasing number of malware for Android, which significantly exceeds that of other platforms. Antivirus software promises effective protection against malware on mobile devices and many products are available for free or at reasonable prices. Their effectiveness is supported by various reports, attesting very high detection rates. Neither do the exceedingly high numbers of different malware variants reflect the real threat in comparison to other platforms, nor do the results of testing antivirus software against a set of already known malware samples (retrospective tests) provide a clear picture of the capabilities and limitations of antivirus software on the Android platform.

***Key words**: android security, malware protection, viruses, protection software.*

Досліджено проблеми функціональної безпеки, вразливостей мобільних пристроїв не тільки з боку операційної системи, але також з боку стороннього програмного забезпечення.

***Ключові слова:** функціональна безпека, операційна система андроїд, функціональний захист.*

Исследованы проблемы функциональной защиты, уязвимостей мобильных устройств не только со стороны операционной системы, но так же со стороны постороннего программного обеспечения.

***Ключевые слова**: функциональная безопасность, операционная система андроид, функциональная защита.*

Introduction to the topic of the study. The general perception of Android security has been largely shaped by two classes of reports: first, antivirus vendors – as they have access to

the biggest set of malware samples – regularly release threat reports on the state of malware threats for various platforms, including mobile platforms. Second, magazines, specialized journals, companies, and institutes publish test reports of malware product tests. Both reports contribute to the perceived risk level on the Android platform. Risk, in the following case, is a purpose of both the threat and the protection level. However, several issues that have not been addressed in both publication groups that were identified. These issues mainly concern the practical implications and conclusions of these reports for users and their devices' security.

Purpose. The aim of the current research is to conduct an investigation in existing systems of providing functional security and antivirus's specifications. The main focus of the research is to examine as much as possible ways of infection of mobile device. However, a more detailed investigation is required for understanding the real risk level arising from malware for the Android platform.

Methodology, Limiting Factors and Evaluation. Currently AV- Test is one of the most complete and well-known Android antivirus software tests [5]. It deploys the same techniques used for antivirus tests on other platforms such as Microsoft Windows. Most significantly, this is the benchmarking of the retrospective detection rate of all products. While this approach already does not accurately depict the protection level offered by each product at the time of a new malware threat's emergence – as it is retrospective – there are more issues on the Android platform, which make these test methodologies less appropriate for the assessment of the protection level offered by the examined products. The Android platform has fundamentally different approaches for controlling soft- ware access to operating system, device, and other program's resources. On desktop platforms, most software is a priori considered as very trusted and has, once installed, unlimited access to the system's, the users' and other software's data on that system. On Android, however, a file system ensures that each installed application may only have the access to its own data and not any other user or other applications' data, unless explicitly permitted by the user (well-known permission system [4]). Even other directories' contents on an Android device cannot be listed by Android antivirus software.

Furthermore, one of the abilities of the antivirus software on Windows is monitoring file system operations. This way, if a software which has not been visible before suddenly downloads malicious code to the hard-drive, this code will be detected nevertheless, as the download to the hard-drive will be spotted by the antivirus software's on-access scanner. On Android, however, file-system monitoring is not possible as well, as required techniques such as hooking are not allowed to user-installed applications.

Thus, neither full file system scans, nor file-system monitoring can be used by antivirus software on Android. This has severe implications. Otherwise harmless applications may start downloading executables to their working directories and run them – a technique that is not controlled or prohibited by Android. Android antivirus software cannot detect that. Hence, these attacks cannot be covered by retrospective detection rate tests of Android antivirus at all. Such attacks are feasible and can be easily deployed. High detection rates reported by antivirus tests, however, suggest a near-perfect protection of devices with detection rates of 90% and above. In the case of a widely spread malware family with many development iterations, it did not get detected by antivirus software at all at the time of its release, leading other researchers to criticize antivirus software on Android for low effectiveness.

Also, like all retrospective tests, Android antivirus tests fail to reflect how quickly the examined products detect new malware threats. On Android, this is even of bigger importance than on desktop platforms such as Microsoft Windows, as users cannot notice positive infection easily. Removal of malware may even be completely impossible for almost all users, as it might need the reinstallation of the device's software image. This would be necessary, for example, if malware gains higher privileges and installs itself to the system partition of the device, which is

only readable by all other software. Thus, timely reaction to new threats is of absolute importance, as device reinstallation is often not possible, and malware can often remain unnoticed because of antivirus' limitations on the Android platform. Ultimately, Android antivirus software has to resort to two primary sources of information for malware detection:

1. Package database.
2. Package files (APK files) of installed apps.

Package names, and also package file locations are stored in the package database. As Android antivirus software cannot list the contents of the directory with installed packages, it has to rely on the package database to provide it with the locations of installed packages. These package files can then be read to be checked using typical antivirus detection techniques. All files added after installation remains invisible to antivirus software on the Android operation system.

Investigation of existing way of infection. App Markets. Some paid content on the Android market is particularly popular with huge portions of Android users. Thus, a way often taken by malware authors to spread their malicious applications is the provision of free prohibited copies of paid content that are infected with the malware author's malicious code [7]. Users unwilling to pay for such content turn to these pirated copies and in turn get infected, accounting for the majority of all malware infections on Android devices by far.

Websites. Device owners can configure their devices to allow website sources for application installation. Those underlie no restriction or monitoring at all, increasing the risk of installing Trojanized apps. Also, when this option is activated, users can be redirected to fake websites supposedly supplying a "critical update". Based on the user agent identification string of a device's browser, targeted attacks against vulnerable smartphones can be conducted. Rogue networks or attackers may even be able to rewrite web traffic to swap legitimate applications with malicious ones.

Infection via personal computer. Due to a lack of remote exploits for the Android operating system and its security model that prevents vulnerable, compromised apps from modifying any operating system components, device-to-device infections are virtually impossible. This applies for all Android versions prior to Version 3.1, which features USB host mode. USB host mode can be used to infect other Android-based smartphones with USB debugging enabled. Versions prior to Version 3.1 account for around 90% of all Android devices as of May 2014 [1].

Rooting. To date, vulnerabilities are mainly used by users to root their phones, meaning to grant the user full administrative access to their smartphone. Such access is needed for various actions. This includes installation of apps in conflict with the Android security architecture or removing carrier branding, circumventing app or usage limitations (e.g., tethering), or even uninstalling provider-installed spyware. An example of such spyware is Carrier IQ, which is deployed by carriers to retrieve detailed data on customer device usage behavior. It uses rootkit technology to keep its activities unnoticed by users [2]. Furthermore, some users may wish to install modified operating systems on their devices, which is also only possible with privileged access.

Device-to-device infection. Autonomous device-to-device broadcast is currently not possible. With Android versions 3.1 and 4.0, two main changes have been introduced which may serve for device-to-device broadcast: USB host mode (Android 3.1) Android Beam (Android 4.0), an NFC (Near Field Communication) based file and data transmission system with a range of around 10 cm USB host mode is very likely to be usable for malware propagation. Similar to desktop computer propagation, an Android smartphone may use the Android Debug Bridge to push and install malicious applications to other devices with USB debugging enabled. This may happen both deliberately or accidentally: Targeted attacks may be conducted against single individuals. A device owner only has to leave their device out of sight for a short period of time, and an attacker close by may

infect it through plugging a USB cable into it. This requires only few seconds. Accidental device-to-device infections may occur as well. Given an already infected device, propagation code may run invisibly in background, waiting for other Android devices to be plugged in. Once two devices are connected together, the host mode-capable device will imitate the Android Debug Bridge's protocol and infect the other device. Android Beam is of limited utility, as it requires user interaction for installation. For example, a web link to a malicious application can be sent to another Android 4 device via Android Beam, but the user still has to click on the link and confirm it. The limited physical distance reduces malware infection risks even further. A USB host mode has only recently become available, device-to-device propagation has not yet been reported. However, Android 4 comes shipped with an adb-server, which allows remote access via shell on other connected Android devices. As a result, malware can use the resupplied adb program to install applications on other devices. Any difficulties in implementing the adb protocol are thus eliminated. Facilities for device-to-device infections are provided by the Android operating system.

Infection via Rogue Wireless Networks. Open wireless access points are very attractive for smartphone users, as the monthly amount of data, which can be transmitted in current plans, is very limited. Rogue wireless access points have several options to manipulate data traffic sent from or to a user's handheld device. For example, download and installation requests for apps distributed by single websites instead of the official vendor app market can be easily redirected to malicious APK files. During transmission even legitimate apps may be replaced. Alternatively, users logging into the rogue wireless network may be presented with a fake website displaying a "critical update" to an app installed on nearly all devices such as Google Search. Furthermore, the Google Market protocol is capable of forcing devices to install or remove apps through the INSTALL_ASSET and REMOVE_ASSET commands. If it is possible to impersonate Google servers, manipulate transmitted traffic or successfully hijack a session and redirect it to own servers, an attacker might be able to force smartphones into installation of malicious apps. However, further research into this matter has still to be done. Figure below depicts significant increasing of malware software for last few years. Till the beginning of 2012 online banking and other finance apps/actions were not so widespread. But afterword's, users started to store private finance information on mobile devices. At the same time (Q1 2012) intruders started to develop much more applications in order to hack user's information.

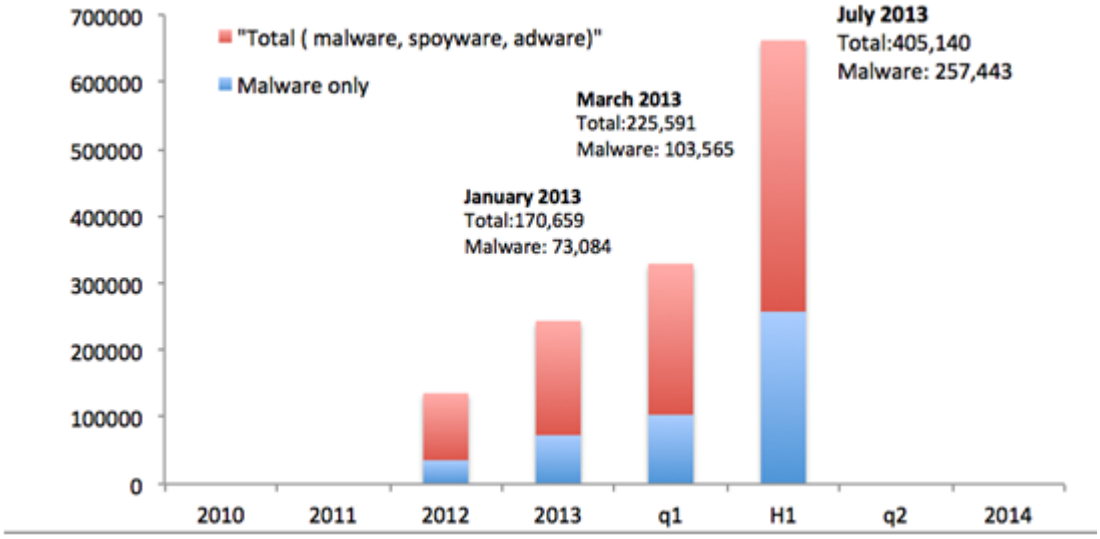


Fig. 1. Increasing of malware software from Q1 2011 to H1 2014

Mobile malware, current propagation scenarios significantly differ from those of desktop malware. Direct self-spreading mechanisms over primary communication networks known from desktop environments are very unlikely. However, different approaches exist, which uti-

lize existing infrastructure such as the Android Market and websites. Also, novel approaches such, as PC-to-device and device-to-device infections will be discussed.

Application sandboxing. Lets consider the process of an Android application installation in details. Android apps are distributed in the form of Android Package (.apk) files. A package consists of Dalvik executable, resources, native libraries and a manifest file, and a developer signature also signs package. There are three main mediators that may install a package on a device in the stock Android operating system:

– Google Play;
– Package Installer;
– ADB install.

Google Play is a special application that provides all the Android smartphones users to look for and download the applications that are uploaded on the market by third-party developers. Although it is also a third-party application, Google Play app (because of being signed with the same signature as the operating system) has access to protected components of Android, which other third-party applications lack for. In case if the user installs applications from other sources she usually implicitly uses Package Installer app. This system application provides an interface that is used to start package installation process. The utility adb install, which is provided by Android, is mainly used by third-party app developers. While the former two mediators require a user to agree with the list of permissions during the installation process, the latter installs an application quietly.

The process of provisioning Application Sandbox at the Linux kernel level is the following. During the installation, each package is assigned with a unique user identifier (UID) and a group identifier (GID) that are not changed during app life on a device. Thus, in Android each application has a corresponding Linux user. User name follows the format app x, and UID of that user is equal to Process.FIRST_APPLICATION_UID + x, where Process.FIRST_APPLICATION_UID constant corresponds to 10000. In Linux, all files in memory are subject for Linux Discretionary Access Control (DAC). A creator or an owner of a file for three types of users sets access permissions: the owner of the file, the users who are in the same group with the owner and all other users. For each type of users, a tuple of read, write and execute (r-w-x) permissions are assigned. Hence, so as each application has its own UID and GID, Linux kernel enforces the app execution within its own isolated address space. Beside that, the app unique UIDs and GIDs are used by Linux kernel to enforce fair separation of device resources (memory, CPU, etc.) between different applications. These architectural decisions set up effective and efficient Application Sandbox on the Linux Kernel level. This type of sandbox is simple and based on the verified Linux Discretionary Access Control model. Luckily, so as the sandbox is enforced on the Linux Kernel level, native code and operating system applications are also subject to these constraints [3].

Threat scenario. Though conventional desktop computer and mobile device malware share many threats for affected users, some are exclusive to mobile platforms due to their use cases and usage environments. This chapter aims to give an overview of threats for smartphones devices. The implications of mobile botnets and the weakness of cellular network environments will be discussed. There is also a consideration and illustration the impact of compromised smartphones on private and corporate targets, e.g., financial fraud and espionage. Due to usage scenario integration on mobile devices – most prominently con- ducting online banking transfers as well as receiving mTANs with the same de- vice, among others – smartphones have become personal communication centers, electronic wallets and even workstations. Use cases slowly evolve towards typical desktop computer fields of application, and even go beyond. Due to the centralization of potentially critical data, platform openness and limited administrative control over a device, as well as resupplied channels for malware distribution, smartphones be-

come highly valuable targets to attack. In the following, attractiveness and threat scenarios will be assessed for private and corporate targets in particular. Figure 2 depicts whole deployment process, vulnerable code could be incapsulated at any time during these steps.

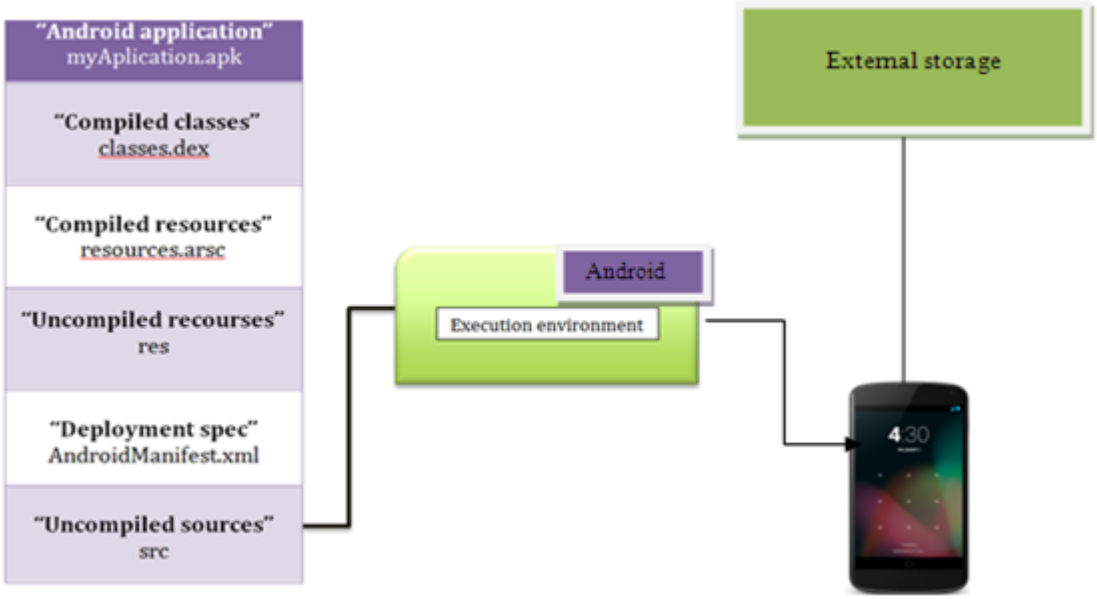


Fig. 2. Android application deployment process

The central Android logging service has proven to be a very rich resource for different personal information. Many apps tend to write status messages to the logging service containing parameters, which disclose personal details of their device owners. For example, several GPS-based apps were found to write the de- vice's geo-coordinates to the logging service in regular intervals, thus providing full profiles on the device owner's movements to other apps installed [6]. Some apps log web requests or other network communication. Thus, by only reading log files, much sensitive information can be gathered, depending on the apps installed and their behavior regarding logging.

Online Banking. Transactions are often confirmed and authorized via the mTAN method. Since the abandonment of printed iTAN lists by many banks, popularity of this method is increasing rapidly, as it is considered easier by customers than TAN generators. In both cases – when a smartphone is only used to receive mTANs or when used to issue transactions as well – the user's bank account is put at high risks, if his device is compromised. On infected phones, login credentials for online banking portals entered by the device owner can be recorded and forwarded easily. This applies when a com- promised smartphone is used for receiving mTANs and for issuing transactions, or even when used only to log in to the banking account to check its balance. Only logging in once is sufficient for an attacker to withdraw all money from an mTAN-protected bank account, as ordering a transaction and intercepting the mTAN text message is trivial. Under the Android operating system, an application can register to receive SMS messages before the phone's own messaging application through the RECEIVE_SMS permission. An attacker only would have to react quickly enough to confirm the transaction after parsing the respective SMS message via the READ_SMS permission, even without preemptive interception.

Modules of generation of hidden events. Contact Information, Location Data, Credentials and Private Details. Espionage, communication eavesdropping, blackmailing, botnet formation, gathering valid email addresses for spam mailing and recording of sensitive information such as login credentials or credit card data are just some of the classical applications of Trojan software. All of these apply for mobile platforms as well. In some cases, they may even be more dangerous on mobile devices: Users are less cautious and store a lot of in-

formation and communication together. For convenience reasons, application credentials are reserved unencrypted or only obfuscated [7]. When encrypted, the corresponding key is usually saved in plain text and easily available. This way, users are not forced to enter passwords on a regular basis. As a result, obtaining credentials for any app is trivial, given root privileges. Multiple real-world spying cases have gained some attention recently and similar scenarios will become more common, due to thriving smartphone numbers and increasingly sophisticated attacks. Best known is the News of the World eavesdropping case in which the Murdoch-owned newspaper spied on celebrities and politicians as well as on abduction or even murders victims. Although these targeted privacy breaks were not technically sophisticated, they demonstrate very well what can be done with mobile spyware. Through the possibility of targeted infection of end-user devices, single persons can be attacked successfully in public places such as cafés during short moments of inattentiveness. When targeting persons of political, military or corporate power or interest these attacks can be highly effective.

Corporate Targets. One of the biggest threats for medium to large sized enterprises and even to whole economies is industrial espionage. Employee and management workstations usually underlie close monitoring and are supplied with security patches centrally and quickly. Corporate security and data policy, as well as technology, such as firewalls, intrusion, detection systems and content filters, account for usually very high security standards. They aim to prohibit data breaches and compromisation of employee workstations.

However, corporate-supplied smartphones are often less well monitored. Central administration without removing all end-user privileges on their devices is an issue of very high difficulty. Private smartphones usually are not monitored at all. However, they are often used to enter a company's networks, store sensitive work-related documents, carry out work-related communication or are plugged into workstations' USB ports for battery charging. Such usage may not only result in data breaches where an attacker is able to copy contracts, product designs or other mission-critical documents through a compromised smartphone. It can also lead to the infiltration of the corporate network. Attackers may use an infected mobile device, as a base of operations for mapping the company's structure, when logged into the company's network, for intercepting inside data traffic or for other forms of attacks and eavesdropping. Company-provided smartphones often contain VPN login identifications, giving an attacker corporate network access at will. Furthermore, operating system security vulnerabilities in USB device management allow for the infection of computers with malware when a compromised smartphone is plugged in, e.g., for charging its battery.

Conclusions. Like on desktop and server systems, private and corporate users should not rely on antivirus products for perfect protection of their Android devices. While this is a well-known fact, it is even more important on Android due to the limited capabilities of antivirus apps on this platform. In practice, antivirus software on Android can only offer more limited security than on desktop and server platforms. Smartphone security begins with education designed for the smartphone user about existing security controls that can provide especially protection when conducting financial transactions. Android has an operating system that is very secure, it has several levels of protection to tackle a broad range of security threats and requires users permission to do almost anything that could lead to users data or the system to be compromised. Moreover, the SELinux solution, which protects against weaknesses on the Linux-kernel layer, have been implemented in Android 4.3 However, in a helpless area such as the one mobile devices represent, a system can never be considered perfect. This is why we pointed out some weak parts in Android security and exposed several countermeasures along with their corresponding mitigation level and required implementation effort. Definitely, the platform needs to improve its permission mechanism and its capacity of detecting misuse of granted permissions. So, a good idea would be to assign the highest priority to SELinux along with additional countermeasures such as fire- wall, IDS

and CAAC. At lower priority we could add spam filtering, data encryption, and selective Android permission mechanisms. Finally, remote management, VPN and login solutions would be a significant advantage when targeting corporate customers.

References

1. *Android* developers. Dasboard & Platform versions [Online]. – Available : https://developer.android.com/about/dashboards/index.html.

2. *Understanding* security on Android [Online]. – Available : http://www.ibm.com/developerworks/library/x-androidsecurity.

3. *Android* security (And not) internals / Y. Zhauniarovich ; Toronto University. – June 2012. – P. 11–14, 32–37.

4. *Effectivness* of malware protection on android and evaluation of android antivitus apps / R. Fedler, J. Schutte, M. Kulicke // Applied and integrated security. – 2014. – P. 7–13, 26–32.

5. *Enhanced* android security to prevent privilege escalation / J. Majer // Munich University. – September 16. – 2013. – P. 4–5, 22–31.

6. *Android* OS security: risks and limitations / R. Fedler, C. Banse, C. Kraub, V. Fuesing. – 2012. – P. 19–27.

7. *Mobile* application security on android, context on android security / J. Burns // Black Hat. – 2009. – 27 p.

UDC 004.5:004.89:004.9

Vitalii Lytvynov, Doctor of Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine
Olena Skakalina, PhD in Technical Sciences
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

METHODS OF FUZZY LOGIC TO MINIMIZE THE RISKS OF IT-PROJECTS

В.В. Литвинов, д-р техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна
О.В. Скакаліна, канд. техн. наук
Полтавський національний технічний університет, м. Полтава, Україна

МЕТОДИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРИ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ ІТ-ПРОЕКТІВ

В.В. Литвинов, д-р техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, Чернигов, Украина
Е.В. Скакалина, канд. техн. наук
Полтавский национальный технический университет, Полтава, Украина

МЕТОДЫ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ ИТ-ПРОЕКТОВ

This article describes the selection of an IT project using fuzzy sets and project risk management. Proposed for determining the most effective use of fuzzy logic project «worst-case method», which is based on the principle of fuzzy intersection Bellman criteria-Zadeh and 9-point scale linguistic evaluations Saaty.

Key words: *fuzzy set, fuzzy logic, fuzzy variable, linguistic variable, IT project risks IT-project management standards IT-projects.*

Розглянуто вибір ІТ-проекту за допомогою нечітких множин та управління ризиками проекту. Запропоновано для визначення найбільш ефективного проекту використання нечіткої логіки «метод найгіршого випадку», основу якого складають принцип перетинання нечітких критеріїв Белмана-Заде і 9-бальна шкала лінгвістичних оцінок Сааті.

Ключові слова: *нечітка множина, нечітка логіка, нечітка змінна, лінгвістична змінна, ІТ-проект, ризики ІТ-проектів, стандарти управління ІТ-проектів.*

Рассмотрен выбор ИТ-проекта с помощью нечетких множеств и управления рисками проекта. Предложено для определения наиболее эффективного проекта использования нечеткой логики «метод наихудшего случая», основу которого составляют принцип пересечения нечетких критериев Беллмана-Заде и 9-балльная шкала лингвистических оценок Саати.

Ключевые слова: *нечеткое множество, нечеткая логика, нечеткая переменная, лингвистическая переменная, ИТ-проект, риски ИТ-проектов, стандарты управления ИТ-проектов.*

Statement of Problem. At the present stage of information technology (IT) is considered as one of the main tools for the implementation of the strategic objectives in various fields.

Management in the economy lead to the use of increasingly complex IT in process automation control government agencies and large companies. Increase the value and significance of data to be processed in turn leads to the need for effective it management. Introduced new principles of organization and management, new IT - services to users. Constantly modified and supplemented by the requirements of modern IT. In turn, the complexity of managing leads to qualitative and quantitative growth of their providing component - information and communication system (ICS). It is known that most of the projects on the development of information systems is currently not completed in time, exceed the budget or dealt with the lack of functionality to the system can be used. According to the Chaos Report on the status of the development of IT - projects conducted by Standish Group [1], every fifth project fails, every second is not able to meet the deadline or is of lower quality or incomplete functionality.

Analysis of previous investigations and articles. One of the reasons for this situation are the wrong decisions made by project managers, in particular wrong decisions during the execution phase of the project. So, project managers can delay the time of replacement of less efficient developer more efficient. One of the objectives for the management of IT- projects is the task of managing the execution of the project [2]. The complexity of this task, due to the fact that, as a rule, something goes not according to plan, for example, violated time and budget, the reasons could be other factors, such as the underestimation of the complexity of the tasks, the low productivity of developers, and so on [3]. For decisions to be taken at this stage, characterized by increased subjectivity. Making incorrect decisions can lead to violation of the terms of the project and / or over budget. Very rarely one project is superior on all criteria. Usually each of them has its advantages and disadvantages. To choose the best variant of the project are various methods of calculating changes in the value of money over time [4]. The main idea of these methods is to calculate how profitable is each variant at a given time interval. When such calculations are unavoidable errors due to inaccurate forecast indices - for example, future bank interest rates, annual profits, revenues from the project in three, five, ten years, etc.. For brand projects are very difficult to accurately predict financial flows, because they strongly depend on the subjective reactions of many people, therefore, the practical application of such methods in the analysis of real brand projects limited. The article discusses the implementation of multicriteria analysis of brand projects based on fuzzy decision theory. The initial data used by the expert pairwise comparison of alternatives for each criterion.

Bold unsolved aspects of the general problem. It is impractical to choose a project only on economic criteria (given profit, the profitability index investment, etc.) without taking into account the complexity of its implementation, degree of maturity, risk, and other factors. As the source data assumes the use of expert pairwise comparisons of alternatives on each criterion.

Aim of the article. When deciding the most important thing is to choose the best option. Therefore, the main thing is not to predict what indicators will ensure the implementation of a project, and to determine the advantage of one option over the other. Also, a method for sensitivity analysis of the decision to variations of the expert comparisons of alternatives.

The main part. The choice of intelligent information systems. Assume that known:

$P = \{P_1, P_2, ..., P_k\}$ is the set of projects for the creation of intelligent information systems (IIS);

$G = \{G_1, G_2, ..., G_k\}$ is the set of quantitative and qualitative criteria for evaluation of projects.

Multicriteria analysis of alternatives consists in the ordering of elements of the set P according to the criteria G. taking into account published data management projects highlight the following evaluation criteria IIS:

– G_1 – degree study of the project;
– G_2 – expected effect;
– G_3 – risks;
– G_4 – speed output IIS on the market;

– G_5 – future development IIS;

– G_6 – cost of the project.

Multitude of the selected criteria is open – it can be supplemented with regard to specific information intelligent systems. In addition, each criterion can be viewed as a set of individual indicators at a lower level in the hierarchy. For example, risks (G_3) may include legal, financial, fashion risks, risks of loss of competitive advantage for the "cloning", risks of changes in legislation and etc.

Most of the methods of multi-criteria analysis converts a vector of individual criteria, which assesses the alternatives in the scalar integral criterion. With this approach it is difficult to take into account qualitative criteria, which are assessed by experts. One of the well-proven themselves in the management of mathematical methods of work with quality information is the theory of fuzzy sets, which is an effective mathematical tool for dealing with uncertainty.

To build the decision model used method of fuzzy multi-criteria analysis [5], which allows to take into account the peculiarities of the development of intelligent information systems. The method is based on the following principles:

1) criterias are considered as fuzzy sets defined on the universal set of alternatives using a membership function;

2) the membership functions of fuzzy sets are determined by expert paired comparisons of alternatives;

3) the coefficients of importance of the criteria used to concentrate the appropriate fuzzy sets;

4) the decision shall be made by the scheme Bellman – Zadeh [6] by the intersection of fuzzy sets of criteria that corresponds to the option that is better than others simultaneously satisfies all criteria.

We denote as $\mu_{Gi}(P_j)$ number from the interval [1], which project $P_j \in \boldsymbol{P}$ is evaluated according to criteria $G_i \in \boldsymbol{G}$: the greater the number $\mu_{Gi}(P_j)$, the better the project P_j criterion G_i, $j = \overline{1,k}$, $i = \overline{1,n}$. Then the criterion G_i can be represented by fuzzy set $\widetilde{G_i}$ on the universal lot of information intelligent systems P:

$$\widetilde{G_i} = \left\{\frac{\mu_{Gi}(P_1)}{P_1}, \frac{\mu_{Gi}(P_2)}{P_2}, \ldots, \frac{\mu_{Gi}(P_k)}{P_k}\right\}. \quad (1)$$

where $\mu_{Gi}(P_j)$ - the degree of membership of element P_j fuzzy set $\widetilde{G_i}$.

Find the degree of membership of a fuzzy set (1) will the method for construction of membership functions on the basis of pairwise comparisons. For each pair of projects expert criterion G_i $(i = \overline{1,n})$ evaluates the advantage of one option over another. Paired comparison it is convenient to specify this matrix:

$$\boldsymbol{A} = \begin{array}{c} \\ P_1 \\ P_2 \\ \ldots \\ P_k \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} P_1 & P_2 & \ldots & P_k \end{array} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2k} \\ \ldots & \ldots & & \\ a_{k1} & a_{k2} & \ldots & a_{kk} \end{bmatrix} \end{array},$$

where a_{ij} - the advantage of the project P_i before project P_j $(i, j = \overline{1,k})$, is determined by the whole scale Sahati[6]:

1 – if the advantage is absent;

3 – if the advantage of the weak;

5 – if a significant advantage;

7 – if a distinct advantage;

9 – if the absolute advantage;

2, 4, 6, 8 – intermediate comparative evaluation.

Matrix of pairwise comparisons A is diagonal ($a_{ij} = 1$) and back symmetrical $a_{ij} = \frac{1}{a_{ij}}, i,j = \overline{1,k}$. The degree of fuzzy membership (1) correspond to the coordinates of the eigenvectors $W = (w_1, w_2, \dots, w_k)^{\mathrm{T}}$ of the matrix A: $\mu_G(P_j) = w_j, j = \overline{1,k}$. Own vector is found using the following equations:

$$\begin{cases} A \cdot W = \lambda_{max} \cdot W \\ w_1 + w_2 + \cdots + w_k = 1 \end{cases} \quad (2)$$

where λ_{max} is the largest eigenvalue of the matrix A.

According to the principle of Bellman-Zadeh, will be the best alternative, which is to the greatest degree simultaneously satisfies all the criteria. Fuzzy decision is the intersection of individual criteria:

$$\tilde{D} = \tilde{G}_1 \cap \tilde{G}_2 \cap \dots \cap \tilde{G}_n = \left\{ \frac{\min_{i=\overline{1,n}}\left(\mu_{G_i}(P_1)\right)}{P_1}, \frac{\min_{i=\overline{1,n}}\left(\mu_{G_i}(P_2)\right)}{P_2}, \dots, \frac{\min_{i=\overline{1,n}}\left(\mu_{G_i}(P_k)\right)}{P_k} \right. \quad (3)$$

In accordance fuzzy solution of (3) is the best project with the maximum degree of membership:

$$D = \arg\max \left(\mu_D(P_1), \mu_D(P_2), \dots, \mu_D(P_k)\right) \quad (4)$$

The choice of intelligent information system for multi-criteria analysis. Improving the effectiveness of the implementation of information systems in various sectors of activity is closely related to their level of intellectuality. At the present stage of development of information systems and technologies most routine operations to transform the information is already automated and further increasing efficiency requires automation of intellectual and creative activity of man.

The creation of intelligent information systems, which would provide the company with modern methods of data analysis, generation of alternative solutions, evaluation and selection of the best, is an extremely important and urgent task. The introduction of mobile and the use of expert systems is a necessity, which would help to navigate in a changing environment.

In the work it was decided to compare three of the project for the creation of intelligent information systems, namely Oracle, SAP, and author's elaboration based on genetic algorithm.

Oracle and SAP - the world leaders in the segment of enterprise management systems. The products of both suppliers belong to the class of large integrated systems and broad functionality that allows you to meet the needs of businesses in virtually any industry. However, the high cost of licenses, consulting services and support solutions from Oracle and SAP is often a key issue when choosing IIC. For this reason we are together with them compared authoring, to visualize on the defined criteria of their advantages or disadvantages.

The calculated values of all components of the criterion G_i each alternative P_1, P_2, P_3 set P of IIS variants are presented in table 1.

Table 1

Evaluation component criteria for each alternative

Criterion component	**Alternatives**		
	P_1 – Oracle	**P_2 – SAP R/3**	**P_3 – author's development**
G_1 – extent of study of the project	90 %	95 %	50 %
G_2 – the expected effect	75 %	75 %	75 %
G_3 – risks	25 %	10 %	60 %
G_4 – speed of entry IIS into the market	35 %	50 %	10 %
G_5 – development prospects of IIS	55 %	70 %	70 %
G_6 – project cost	high	high	low

Expert paired comparison projects *P1 ÷ P3* criteria *G1* to *G6* are given in table 2.

Table 2

Paired comparison projects

Criteria	Pair comparisons
G_1	absolute advantage P_2 over P_3
	clear advantage P_1 over P_3
	weak advantage P_2 over P_1
G_2	essential advantage P_1 over P_3
	essential advantage P_2 over P_3
	відсутня перевага P_1 над P_3
G_3	essential advantage P_2 over P_3
	weak advantage P_1 over P_3
	there is no advantage P_1 over P_2
G_4	weak advantage P_1 over P_3
	essential advantage P_2 over P_3
	there is no advantage P_1 over P_2
G_5	essential advantage P_3 over P_1
	weak advantage P_3 over P_2
	weak advantage P_2 over P_1
G_6	absolute advantage P_3 over P_2
	absolute advantage P_3 over P_1
	weak advantage P_2 over P_1

Based on the results table 2, the resulting matrix of pairwise comparisons, which, being diagonal and having property of transitivity and reverse symmetry are the following:

$$\mathrm{A}(G_1)=\begin{bmatrix}1 & 1/3 & 7\\ 3 & 1 & 9\\ 1/7 & 1/9 & 1\end{bmatrix} \qquad \mathrm{A}(G_4)=\begin{bmatrix}1 & 1 & 3\\ 1 & 1 & 5\\ 1/3 & 1/5 & 1\end{bmatrix}$$

$$\mathrm{A}(G_2)=\begin{bmatrix}1 & 1 & 5\\ 1 & 1 & 5\\ 1/5 & 1/5 & 1\end{bmatrix} \qquad \mathrm{A}(G_5)=\begin{bmatrix}1 & 1/3 & 1/5\\ 3 & 1 & 1/3\\ 5 & 3 & 1\end{bmatrix} \qquad (5)$$

$$\mathrm{A}(G_3)=\begin{bmatrix}1 & 1 & 3\\ 1 & 1 & 5\\ 1/3 & 1/5 & 1\end{bmatrix} \qquad \mathrm{A}(G_6)=\begin{bmatrix}1 & 1/3 & 1/9\\ 3 & 1 & 1/9\\ 9 & 9 & 1\end{bmatrix}$$

In each matrix the three elements correspond to paired comparisons with table. 2. Other items found based on the properties of the diagonal and the inverse of the symmetry of the matrix of paired comparisons. Applying the formula (2) to the matrix (5), we obtain the following fuzzy sets:

$$\tilde{G}_1=\left\{\frac{0{,}24}{P_1},\frac{0{,}69}{P_2},\frac{0{,}06}{P_3}\right\}$$
$$\tilde{G}_2=\left\{\frac{0{,}45}{P_1},\frac{0{,}45}{P_2},\frac{0{,}09}{P_3}\right\}$$
$$\tilde{G}_3=\left\{\frac{0{,}43}{P_1},\frac{0{,}45}{P_2},\frac{0{,}11}{P_3}\right\}$$
$$\tilde{G}_4=\left\{\frac{0{,}43}{P_1},\frac{0{,}45}{P_2},\frac{0{,}11}{P_3}\right\}$$
$$\tilde{G}_5=\left\{\frac{0{,}11}{P_1},\frac{0{,}23}{P_2},\frac{0{,}65}{P_3}\right\} \qquad (6)$$
$$\tilde{G}_6=\left\{\frac{0{,}08}{P_1},\frac{0{,}1}{P_2},\frac{0{,}82}{P_3}\right\}$$

After crossing $\tilde{G}_1 \cap \tilde{G}_2 \cap \ldots \cap \tilde{G}_6$ we obtain the following fuzzy set:

$$\tilde{D}=\left\{\frac{0{,}08}{P_1},\frac{0{,}1}{P_2},\frac{0{,}06}{P_3}\right\} \qquad (7)$$

which shows the advantage of the project P_2 over the other. Thus, the project P_2 are better than others at the same time satisfies all the criteria according to their importance.

This algorithm, based on fuzzy sets, implemented in Microsoft Excel and universal for evaluation to select the best projects.

Optimization of the decision-making process on the choice of intelligent information systems. In practice, the question often arises: "What needs to change in this project, to become the best?". To answer this question it is necessary to know how "anxious" resolved expert paired comparisons. Below is a proposed approach to the study of the sensitivity, the idea of which is to define what will be the solution, if you change one of the pairwise comparisons. When you change one of the paired comparisons of the options necessary to ensure the consistency of the other. For illustration depict the histogram, which will reflect the best project in the appropriate criterion.

1) Consider projects on their degree of elaboration, SAP R/3 has a clear advantage over the author's development. To improve the author's design based on genetic algorithm (GA) is often necessary to not only Finance, but also experience, business communication successful investors in the creation and development of business.

2) Further analyzed the projects expected effect, a clear advantage is the project of SAP R/3. To change the level of benefits the other two projects should:

- ensuring management efficiency;
- to improve the accuracy of incoming and outgoing information;
- increase productivity of managerial personnel;
- reduced operating expenses;
- increase the scientific validity of the initial information.

3) The most risky is the project authoring on the basis of GA, for changes in the level of benefits of the project under this criterion must:

- to anticipate problems instead of reacting to them after they occur;
- to do preventive measures wherever possible;
- to prepare plans for the solution of problems before problems arise;
- to study the root causes of risk, and not their manifestations;
- use clear, structured and repeatable process for solving problems.

4) Improvement of advantages over other projects requires author's elaboration based GA for this need:

- creation, development and utilization of new products and processes;
- improvement of the quality level of technical and technological base of production;
- improvement of the quality level of the research and development base;
- increase the efficient use of personnel and information potential;
- improving the organization and management of innovative activity;
- rationalization of the resource base;
- the achievement of competitive advantages of an innovative product over similar products on the domestic and foreign markets.

5) Author's elaboration based on GA is the most promising, because it aims to take a leading position in the market. For the long-term prospects in the development of the IIS must conduct ongoing analysis of the adequacy and appropriateness of the existing market structure, functions, tasks, skill level of staff in a particular economic situation.

Having estimated IIS at their cost, we see that author's development on the basis of GA has absolute advantage before other projects as is the cheapest project. To increase the level of preference for other projects it is necessary to reduce the price.

Summarizing the above, determine that it is necessary in order to make the author's elaboration on the basis of GA was the best. After analyzing the project determined that to improve

its will on the criteria G_1 (degree of elaboration of the project) and G_2 (expected effect), as the criterion G_1 is the worst.

For improving the level of study and the expected effect of the project should: o new financial services market, their standardization across the enterprise, improving the quality of customer service and transparent tracking performance, it is necessary to provide a unified platform for the delivery of of financial services. This platform should provide the ability to quickly rebuild automated business processes without compromising the reliability, safety and quality of their provision.

To enable planning and optimization of logistics network, tracking the passage through it of cargoes and shipments must provide a unified logistics system planning and accounting. This system should provide the ability for strategic planning of the logistics network, the solution of optimization problems, as well as full support for the operational functioning of logistics enterprises. In addition, the system should provide the ability to quickly change in order to market new customization services.

As currently IIS occupy one of the key places in the enterprise, the quality of provision of it services, their reliability, consistency with the business requirements and the flexibility to change come to the fore. This IIS should accelerate the process of adaptation to changing business requirements and to ensure consistent settings of providing it services.

Having fulfilled all the necessary conditions to improve and identifying new benefits before projects are (table 3):

Table 3

Paired comparison projects

Criteria	Pair comparisons
G_1	essential advantage P_2 over P_3
	weak advantage P_1 over P_3
	weak advantage P_2 over P_1
G_2	there is no advantage P_1 over P_3
	there is no advantage P_2 over P_3
	there is no advantage P_1 over P_3

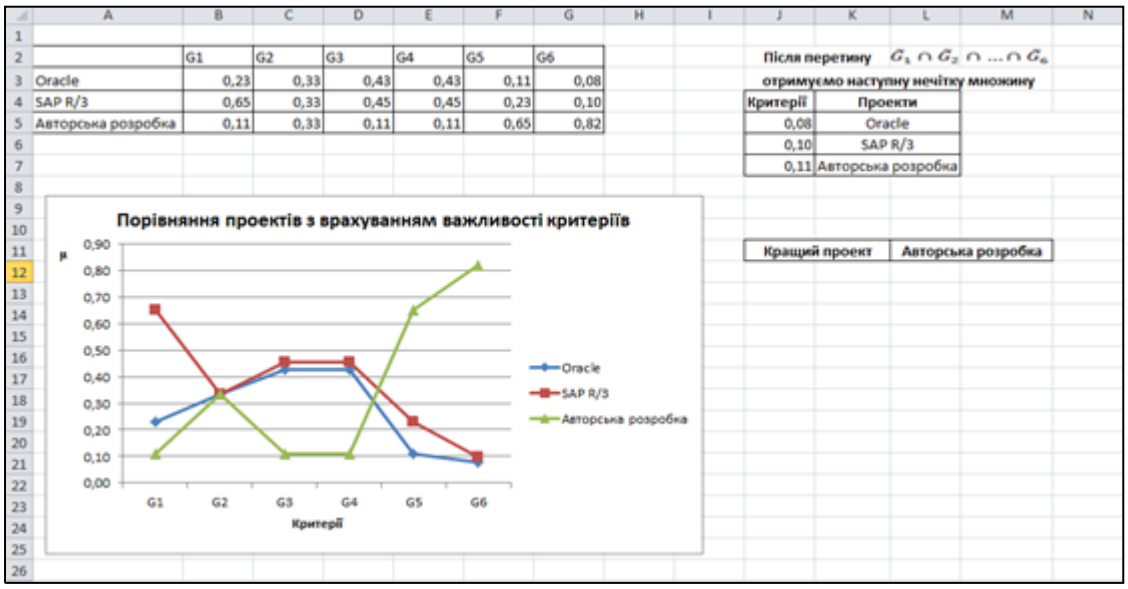


Fig. Optimization of the choice of intelligent information systems

Elaborating the project authoring that based of development GA, are the results of calculations are presented in Fig., namely, the IIS is the best, thanks to the improvement of the criteria of the degree of elaboration of the project and the expected effect.

The economic effect when optimizing the decision-making process. Any information intelligent systems designed to meet any need, get the effect. Use IIS directly affects the economic performance of the user (for example, an automated quality control system significantly reduces losses from defects, resulting in lower costs of production, and thus increase profits). The economic effect is easily valuation and must be calculated under the economic rationale.

These projects make use of the following indicators:

1) Cost of the software (SA) – fixed cost set of programs of the information processing system and software documents required for operation of these programs.

2) Cost of means of computer equipment – fixed cost on office equipment and computer accessories that will satisfy the needs with the introduction of the IIS.

3) Costs of training of the personnel – the success and efficiency of it projects depends on the skill level of the personnel involved in the administration and improvement of IT-systems and the training of end customers, project managers and employees, it is therefore necessary funding for this area, for maximum results.

4) Cost of maintenance is one of the most expensive components, as is the process of ensuring that it works IIS, changes in the detection of errors, adaptation IIS to the new operating environment, as well as increase productivity or improve certain characteristics.

5) Cost of the extension of the project cost which includes expanding the range of tasks and services that are delegated to the remote offices, and further development of the network of these offices.

6) Cost of the communication system – managing information communication in the organization includes actions necessary to ensure timely receipt, collection, dissemination, storage and ultimate disposition of information. It provides a very important link between people to exchange ideas and different kinds of information, which ultimately is necessary for the successful completion of the project. Any person involved within the organization must be ready to send and receive information through the information system through the established channels. Communication management organization should be focused on group interaction in the framework of the management of the organization and includes:

– information of development project information links an organization that is collected, processed and distributed data, including both raw data and those obtained from direct calculations, analytical processing, expert assessments, and others;

– means for processing information, i.e. information technologies based on modern software products;

– communication tools based on modern means of communication, focused on ensuring the timely collection, generation, distribution, storage and transmission of the necessary project information;

– documentation of work – collecting, processing and preservation documentation on the project (table 4).

Table 4

The cost of key indicators

Criteria of an assessment	Oracle, $	SAP R/3, $	Author's development, UAH
Cost of the software	700 000	800 000	200 000
Cost of means of computer equipment	75 000	100 000	100 000
Costs of training of the personnel	2 500	5 000	10 000
cost of support of the software	30 500	50 000	25 000
cost of extension of the project	200 000	350 000	50 000
Cost of communication systems	6 000	10 000	20 000

Each organization determines the level of profitability IIS, and then based on it and on the basis of the amount of development costs to determine the selling price IIS and to offer its cus-

tomers. If the offered price is below average prices for similar programs at other conditions being equal, the customer will prefer to buy IIS from this developer. Therefore more efficient for the customer to choose author's elaboration based on genetic algorithm, and the development of IIS for risk analysis of it projects is suitable for enterprises and small businesses.

Conclusions and recommendations. The implementation of it projects without analysis of alternatives results in an increase of its value, increases the level of possible risks, and the results are far from expected. Errors in risk assessment can lead to incorrect management decisions, it is important to identify and assess all project risks.

In this graduation project achieved the goal: developed IP that improve the quality of decisions on the selection of it projects (in terms of inaccurate and uncertain expert information based on the use of fuzzy linguistic variables) and allows you to take the appropriate and informed decisions using subjective quality expert information provided, including, in the form of interval estimates.

For her achievements have been solved such basic tasks:

– Peculiarities of evaluation projects it projects

– Conducted the selection and assessment criteria assessment of the risk of it projects

– Conducted the selection and sorting of risk it projects

– Feasibility of using the method of fuzzy multi-criteria analysis in choosing the best it project

Using these rules, you can identify ways of improving the efficiency of an it project that will ensure its dominance over the other options.

References

1. *Ofitsial'nyi* sait Standish Group [Standish Group official site]. – Available at : http://blog.standishgroup.com.

2. *A Guide* to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute, 2013. Available at : http://www.pmi.org/.

3. *DeMarko T.*, Lister T. Val'siruia s medvediami [Waltzing with the bears]. – Moscow, Kompania p.m.Office. – 2005. – 196 p. – Available at : http://www.pmo.ru/.

4. *Савчук В. П.* Оценка эффективности инвестиционных проектов : учебник [Электронный ресурс] / В. П. Савчук. – Режим доступа : http:// www.management.com.ua/.

5. *Ротштейн А. П.* Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 3. – С. 150–154.

6. *Bellman R. E.*, Zadeh L. A. Decision-Making in Fuzzy Environment // Management Science. – 1970. – Vol. 17, № 4. – P. 141–160.

7. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 320 с.

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.314.1

О.О. Гусев, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДЕЛЬ ТРИРІВНЕВОГО КВАЗІ-ІМПЕДАНСНОГО ІНВЕРТОРА ДЛЯ МАЛОГО СИГНАЛУ

А.А. Гусев, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДЕЛЬ ТРЕХУРОВНЕВОГО КВАЗИ-ИМПЕДАНСНОГО ИНВЕРТОРА ДЛЯ МАЛОГО СИГНАЛА

Oleksandr Husev, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

THE MODEL OF THREE-LEVEL QUASI-Z-SOURCE INVERTER FOR A SMALL SIGNAL

Розглянуто однофазний трирівневий квазі-імпедансний інвертор. Проведено лінеаризацію за методом усереднення у просторі станів. Складено матричний вираз, що описує в р-області поведінку перетворювача для малого сигналу. Аналітично отримані передавальні функції, які можна використовувати для синтезу замкнутої системи керування.

***Ключові слова**: трирівневий інвертор, квазі-імпедансна ланка, малосигнальна модель.*

Рассмотрен однофазный трехуровневый квази-импедансный инвертор. Произведена линеаризация по методу усреднения в пространстве состояний. Составлено матричное выражение, описывающее в р-области поведение преобразователя для малого сигнала. Аналитически получены передаточные функции, которые можно использовать для синтеза замкнутой системы.

***Ключевые слова**: трехуровневый инвертор, квази-импедансное звено, малосигнальная модель.*

Focus is on the single-phase three-level quasi-Z-source inverter. State space averaging method is used for small-signal analysis. Small signal behavior of the converter expressed analytically in form of set of transfer functions. It can be used for controller design in closed loop system.

***Key words:** three-level inverter, qZS network, small signal model.*

Постановка проблеми. Останніми роками спостерігається різке зростання кількості енергії, що генерується відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ). Протягом 2013 року у світі потужність вітряних і фотоелектричних установок зросла з 283 і 100 ГВт до 318 і 139 ГВт відповідно [1]. Генерувальні установки для цих двох джерел відновлюваної енергії містять у собі різні модулі силової електроніки.

Квазі-імпедансні перетворювачі (КІП) були запропоновані в 2008 році. Інвертори з квазі-імпедансною (КІ) ланкою добре зарекомендували себе в системах перетворювальної техніки для ВДЕ завдяки можливості забезпечувати неперервний вхідний струм, зменшеній кількості етапів перетворення енергії та підвищеної завадостійкості [2]. КІП використовуються: для інтеграції фотоелектричних перетворювачів у мережу [3] і як інтерфейсні перетворювачі для паливних елементів [4].

Трирівневий однофазний квазі-імпедансний інвертор КІІ з фіксованою нейтральною точкою був запропонований нещодавно як нове рішення для інтеграції фотоелектричних перетворювачів у мережу [5; 6]. Новий перетворювач поєднує в собі переваги трирівневого інвертора та КІ ланки. На рис. 1 показана запропонована топологія.

Для аналізу імпульсних перетворювачів на малому сигналі прийнято використовувати метод усереднення у просторі станів [7]. Він оперує з середніми значеннями струмів і напруг. Середня лінеаризована модель перетворювача, отримана за цим методом, описує поведінку перетворювача при малих змінах вхідних величин і керуючого сигналу.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є побудова моделі трирівневого однофазного КІІ для малого сигналу.

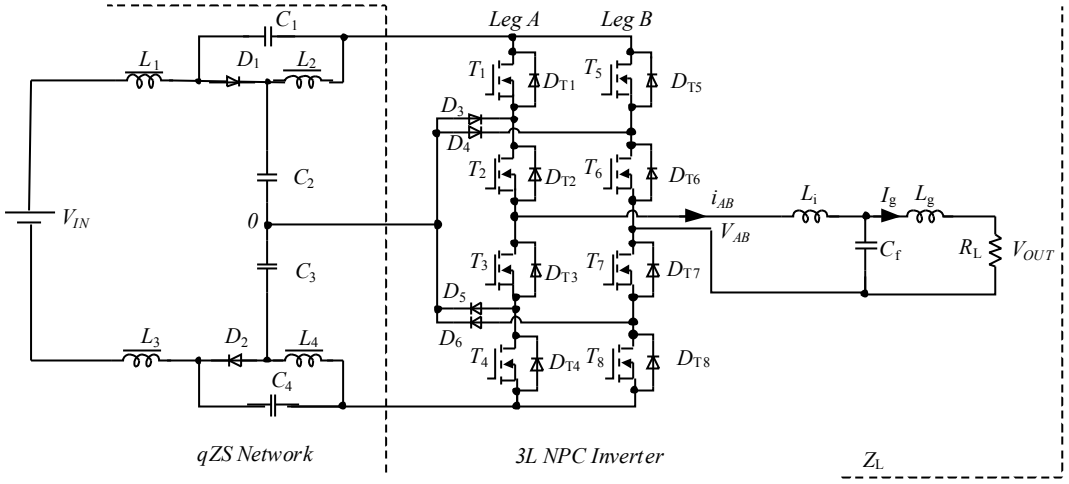


Рис. 1. Схема трирівневого однофазного КП

Виклад основного матеріалу. Метод усереднення у просторі станів використовується для аналізу стійкості ШІМ перетворювачів. Час інвертора раніше розбитий на інтервали, на яких вона замінюється лінійною ланцюга. На *i*-му інтервалі його роботу описує система рівнянь:

$$\begin{cases} \boldsymbol{K}\dfrac{d\boldsymbol{x}(t)}{dt} = \boldsymbol{A}_i\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}_i\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{C}_i\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{E}_i\boldsymbol{u}(t) \end{cases}, \tag{1}$$

де K, A_i, B_i, C_i, E_i – матриця коефіцієнтів на i-ому інтервалі; $x(t)$ – вектор стану; $u(t)$ – вектор вхідних змінних; $y(t)$ – вектор вихідних змінних. Як стани обирають мінімальний набір напруг і струмів на конденсаторах та індуктивностях, які повністю описують систему.

Далі усереднена система рівнянь за період перетворювача в матричній формі:

$$\begin{cases} \dfrac{d\left\langle \boldsymbol{x}(t)\right\rangle_T}{dt} = \boldsymbol{A}_{av}\left\langle \boldsymbol{x}(t)\right\rangle_T + \boldsymbol{B}_{av}\left\langle \boldsymbol{u}(t)\right\rangle_T, \\ \left\langle \boldsymbol{y}(t)\right\rangle_T = \boldsymbol{C}_{av}\left\langle \boldsymbol{x}(t)\right\rangle_T + \boldsymbol{E}_{av}\left\langle \boldsymbol{u}(t)\right\rangle_T, \end{cases} \tag{2}$$

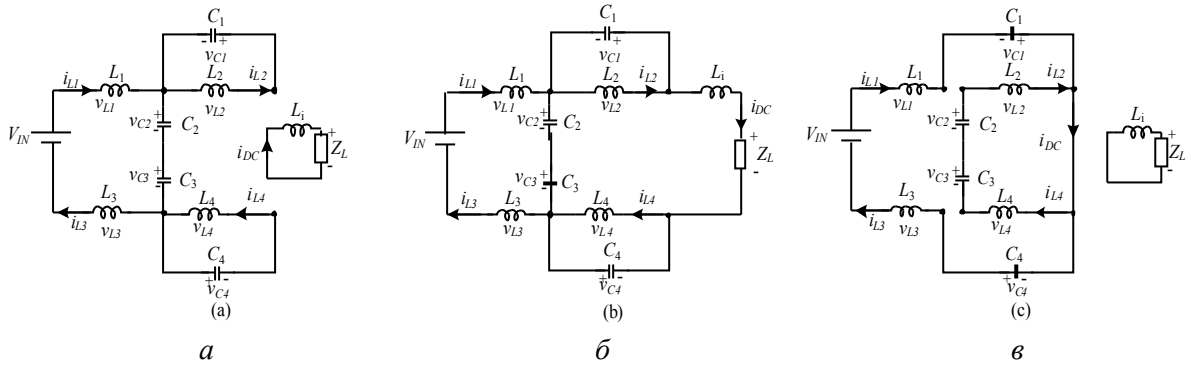
де A_{av}, B_{av}, C_{av} та E_{av} – усереднені матриці коефіцієнтів, що описують поведінку перетворювача в усереднених значеннях. Тут і далі, кутові дужки $\langle\rangle_T$ означають усереднення величини за період перемикання T.

Крім того, всі усереднені стани, вхідна напруга і керуючий сигнал представляються у вигляді постійної складової і змінної складової малої амплітуди з частотою, нижчою за частоту перемикання перетворювача:

$$\begin{cases} \left\langle \boldsymbol{x}(t)\right\rangle_T = \boldsymbol{X} + \tilde{\boldsymbol{x}}(t); \left\langle \boldsymbol{u}(t)\right\rangle_T = \boldsymbol{U} + \tilde{\boldsymbol{u}}(t) \left\langle \boldsymbol{y}(t)\right\rangle_T = \boldsymbol{Y} + \tilde{\boldsymbol{y}}(t); \\ \left\langle d_a(t)\right\rangle_T = D_A + \tilde{d}(t); \left\langle d_0(t)\right\rangle_T = D_0 = 1 - D_A - \tilde{d}(t). \end{cases} \tag{3}$$

Для того, щоб оцінити значення пасивних компонентів і динамічні властивості, нижче коротко наведено принцип роботи перетворювача.

Період роботи перетворювача може бути розділений на декілька часових інтервалів і може бути представлений за допомогою трьох еквівалентних схем, як це показано на рис. 2. Відповідно, всі комутаційні стани можуть бути зведені до трьох основних: нульовий стан (рис. 2, *а*), активні стани (рис. 2, *б*) і стан повної провідності (рис. 2, *в*).



а *б* *в*

Рис. 2. Еквівалентні кола перетворювача: в нульовому стані (а), активному стані (б) та стані повної провідності (в)

Слід зазначити декілька припущень, які були взяті до уваги. Перетворювач працює тільки за наявності активного стану та стану повної провідності. Це означає, що індекс модуляції дорівнює $M = 1\text{-}Ds$, де Ds – відносна тривалість стану повної провідності. Також ми припускаємо, що перетворювач працює в режимі неперервного струму в усьому діапазоні роботи.

Враховуючи вищесказане, рис. 3 ілюструє динамічну модель однофазного трирівневого КП з фіксованою нейтральною точкою, який працює в режимі неперервного струму. При цьому інвертор представлений перемикачем (S), який синхронізується з оберненим значенням перемикача замість діодів. На рис. 3 показано, що перетворювач представлений вектором із семи станів.

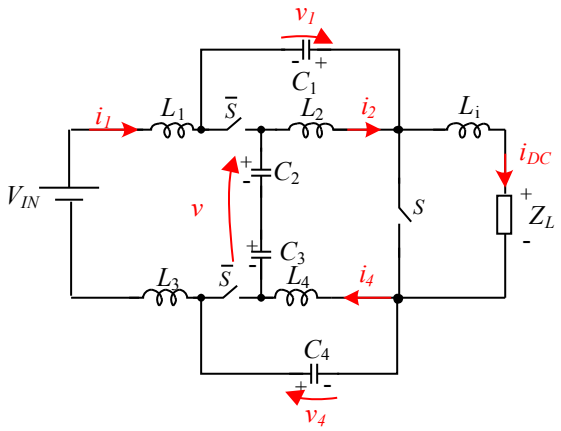


Рис. 3. Динамічна модель однофазного трирівневого КП з фіксованою нейтральною точкою

Ця модель описується такими диференційними рівняннями в режимі повної провідності (інтервал $D_S \cdot T$):

$$\mathbf{x}^T(t) = \begin{bmatrix} i_1 & i_2 & i_4 & v_1 & v & v_4 & i_{DC} \end{bmatrix}; \ \mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} v_{in}(t) \end{bmatrix}; \ \mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} i_{in}(t) \\ v_{out}(t) \end{bmatrix}. \tag{4}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_0 \end{bmatrix}; \ \mathbf{K} = \begin{bmatrix} (L_1 + L_3) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dfrac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_i \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\mathbf{D}=\begin{bmatrix}0\\0\end{bmatrix};\qquad \boldsymbol{A}_1=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{L_2}{L_2+L_4} & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{L_4}{L_2+L_4} & 0 & 0\\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_0\end{bmatrix};\qquad \boldsymbol{B}_1=\begin{bmatrix}1\\0\\0\\0\\0\\0\\0\end{bmatrix} \tag{6}$$

Аналогічно для активного інтервалу (інтервал $D_A \cdot T$):

$$\boldsymbol{A}_2=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1\\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & -Z_0\end{bmatrix};\ \boldsymbol{B}_2=\begin{bmatrix}1\\0\\0\\0\\0\\0\\0\end{bmatrix} \tag{7}$$

Усереднена матриця має вигляд:

$$\begin{cases}\mathbf{A}_{av}=\dfrac{\langle d_S(t)\rangle_T}{2}\left(\mathbf{K}^{-1}\mathbf{A}_1\right)+\dfrac{\langle d_A(t)\rangle_T}{2}\left(\mathbf{K}^{-1}\mathbf{A}_2\right);\\ \mathbf{B}_{av}=\dfrac{\langle d_S(t)\rangle_T}{2}\left(\mathbf{K}^{-1}\mathbf{B}_1\right)+\dfrac{\langle d_A(t)\rangle_T}{2}\left(\mathbf{K}^{-1}\mathbf{B}_2\right);\\ \mathbf{C}_{av}=\mathbf{C};\mathbf{E}_{av}=\mathbf{0};\\ \langle d_S(t)\rangle_T+\langle d_A(t)\rangle_T=1.\end{cases} \tag{8}$$

Проста перевірка полягає у знаходженні рішення рівнянь в усталеному режимі, де всі похідні дорівнюють нулю.

$$\frac{d\langle \mathbf{x}(t)\rangle_T}{dt}=0;\langle \mathbf{x}(t)\rangle_T=\mathbf{X};\langle \mathbf{u}(t)\rangle_T=\mathbf{U};\langle \mathbf{y}(t)\rangle_T=\mathbf{Y};\langle d_a(t)\rangle_T=D_A;\langle d_S(t)\rangle_T=D_S=1-D_A.$$

$$\begin{cases}\mathbf{0}=\mathbf{A}_{av}\mathbf{X}+\mathbf{B}_{av}\mathbf{U};\\ \mathbf{Y}=\mathbf{C}_{av}\mathbf{X}+\mathbf{E}_{av}\mathbf{U}.\end{cases} \tag{9}$$

У результаті рішення системи рівнянь (9) ми маємо набір рішень для сталого режиму:

$$\begin{aligned}&\langle i_1(t)\rangle_T=\left(\frac{1-D_S}{1-2D_S}\right)^2\frac{V_{IN}}{Z_0};\langle i_2(t)\rangle_T=\left(\frac{1-D_S}{1-2D_S}\right)^2\frac{V_{IN}}{Z_0};\\ &\langle i_4(t)\rangle_T=\left(\frac{1-D_S}{1-2D_S}\right)^2\frac{V_{IN}}{Z_0};\langle v_1(t)\rangle_T=\frac{L_2\cdot D_S\cdot V_{IN}}{(L_2+L_4)(1-2D_S)};\\ &\langle v(t)\rangle_T=\left(\frac{1-D_S}{1-2D_S}\right)V_{IN};\langle v_4(t)\rangle_T=\frac{L_4\cdot D_S\cdot V_{IN}}{(L_2+L_4)(1-2D_S)};\\ &\langle i_{DC}(t)\rangle_T=\left(\frac{1-D_S}{1-2D_S}\right)\frac{V_{IN}}{Z_0}.\end{aligned} \tag{10}$$

Крім того, всі усереднені стани, вхідна напруга і сигнал управління представлені у вигляді постійної складової і змінної складової малої амплітуди з частотою нижче частоти перемикання

$$\begin{cases} \langle \mathbf{x}(t) \rangle_T = \mathbf{X} + \tilde{\mathbf{x}}(t); \langle \mathbf{u}(t) \rangle_T = \mathbf{U} + \tilde{\mathbf{u}}(t) \langle \mathbf{y}(t) \rangle_T = \mathbf{Y} + \tilde{\mathbf{y}}(t); \\ \langle d_a(t) \rangle_T = D_A + \tilde{d}(t); \langle d_S(t) \rangle_T = D_S = 1 - D_A - \tilde{d}(t). \end{cases} \quad (11)$$

Підставляючи (11) у рівняння (3), з урахуванням виразів (4) – (8), нехтуючи малими другого порядку і відніманням рівнянь для усталеного режиму, отримуємо:

$$K \frac{d}{dt} \tilde{X} = A\tilde{x} + B\tilde{u} + \left[\left(\mathbf{K}^{-1} A_1 - \mathbf{K}^{-1} A_2 \right) X + \left(\mathbf{K}^{-1} B_1 - \mathbf{K}^{-1} B_2 \right) U \right] \cdot \tilde{d} \, . \quad (12)$$

Далі, застосовуючи перетворення Лапласа до (12), можна записати вираз для моделі малого сигналу:

$$\begin{cases} \tilde{\mathbf{x}}(s) = (s \cdot I - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B} \cdot \tilde{\mathbf{u}}(s) + (s \cdot I - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{M} \cdot \tilde{d}(s); \\ \mathbf{M} = \left[\left(\mathbf{K}^{-1} A_1 - \mathbf{K}^{-1} A_2 \right) X + \left(\mathbf{K}^{-1} B_1 - \mathbf{K}^{-1} B_2 \right) U \right]; \\ \tilde{\mathbf{y}}(s) = \mathbf{C} \cdot \tilde{\mathbf{x}}(s) = \mathbf{C} \cdot (s \cdot I - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B} \cdot \tilde{\mathbf{u}}(s) + \mathbf{C} \cdot (s \cdot I - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{M} \cdot \tilde{d}(s), \end{cases} \quad (13)$$

де I – діагональна одинична матриця.

Малосигнальна модель показана на рис. 4. Вона містить 4 передавальні функції:

$$\left[\begin{matrix} G_{id}(s) \\ G_{vd}(s) \end{matrix} \right]_{\tilde{\mathbf{u}}(s)=0} = \mathbf{C} \cdot (s \cdot I - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{M}; \left[\begin{matrix} G_{iu}(s) \\ G_{vu}(s) \end{matrix} \right]_{\tilde{d}(s)=0} = \mathbf{C} \cdot (s \cdot I - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{B}. \quad (14)$$

Кожана з них може бути виражена:

$$G_{id}(s) = \frac{Q(s)}{H(s)}; \; G_{vd}(s) = \frac{R(s)}{H(s)}; \; G_{iu}(s) = \frac{S(s)}{H(s)}; \; G_{vu}(s) = \frac{F(s)}{H(s)}. \quad (15)$$

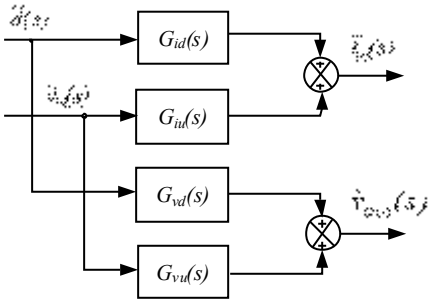


Рис. 4. Малосигнальна модель однофазного трирівневого КП з фіксованою нейтральною точкою

На рис. 5 наведена діаграма Боде, яка визначається на основі рівняння (15). З діаграми можна зробити висновок, що для забезпечення стійкості системи необхідно враховувати полюси, які визначаються пасивними компонентами перетворювача та робочою точкою.

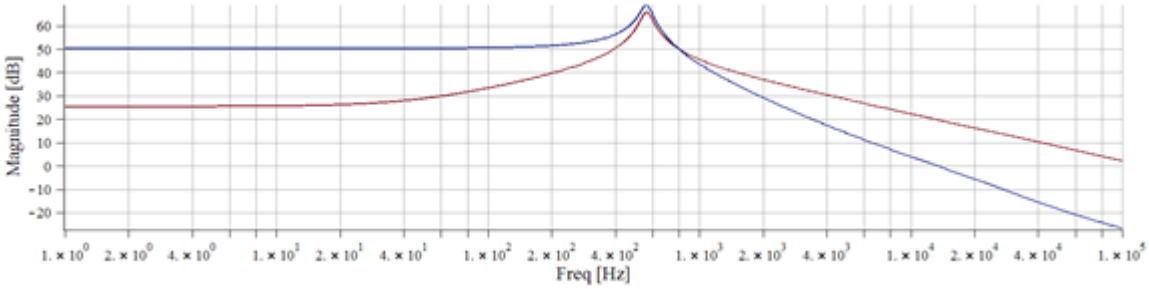


Рис. 5. Діаграма Боде на основі динамічної моделі

Очевидно, що динамічні характеристики досліджуваного перетворювача залежить від робочої точки. Отримані передавальні функції можуть бути використані для аналізу стійкості та визначення параметрів регулятора для замкнутої системи керування.

Висновки. В цій роботі на основі усередненої лінійної моделі була отримана матрична система рівнянь, яка описує поведінку перетворювача в p-області для малого сигналу. Показано, що динамічні характеристики дослідженого перетворювача залежать від робочої точки. Отримані передавальні функції можуть бути використані для аналізу стійкості і визначення параметрів регулятора для замкнутої системи керування. Були прийняті певні припущення, тому отримані результати можуть бути застосовані тільки для аналізу роботи перетворювача в режимі неперервного вхідного струму.

Список використаних джерел

1. *Renewables* 2014 Global Status Report. – Paris : Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. – 2014.

2. *Anderson J.*, Peng F. Four quasi-Z-Source inverters. / J. Anderson, F. Peng // IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC 2008). – 2008. – P. 2743–2749.

3. *Yuan Li* Quasi-Z-Source Inverter for Photovoltaic Power Generation Systems / Li Yuan, J. Anderson, F.Z. Peng, Liu Dichen // 24th Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2009). – 2009. – P. 918–924.

4. *Vinnikov D.* New Step-Up DC/DC Converter for Fuel Cell Powered Distributed Generation Systems: Some Design Guidelines / D. Vinnikov, I. Roasto, J. Zakis, R. Strzelecki R. // Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review). – 2010. – № 86 (8). – P. 245–252.

5. *Husev O.* Single Phase Three-Level Neutral-Point-Clamped quasi-Z-Source Inverter / O. Husev, C. Roncero-Clemente, E. Romero-Cadaval, D. Vinnikov, S. Stepenko // IET PEL. – 2015. – № 1 (8). – P. 1–10.

6. *Husev O.* Experimental investigation of high frequency 3L-NPC qZS inverter for photovoltaic application / O. Husev, S. Stepenko, C. Roncero-Clemente, E. Romero-Cadaval, R. Strzelecki. - In: Proceedings of IECON 2013 39th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society. – 2013. – P. 5967–5972.

7. *Erickson R. W.* Fundamentals of Power Electronics 2nd Ed. / R. W. Erickson, D. Maksimovic. – Springer, 2001. – 912 p.

УДК 621.3.011.74.005

В.В. Михайленко, канд. техн. наук
А.П. Сапегін, канд. техн. наук
Ю.Ю. Остапчук, студентка
Ю.І. Куник, студентка
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ШЕСТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ПРИ ВРАХУВАННІ ВТРАТ У КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТАХ

В.В. Михайленко, канд. техн. наук
А.П. Сапегин, канд. техн. наук
Ю.Ю. Остапчук, студентка
Ю.И. Куник, студентка
Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ШЕСТИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ УЧЕТЕ ПОТЕРЬ В КЛЮЧЕВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Vladyslav Mykhailenko, PhD in Technical Sciences
Anatolii Sapehin, PhD in Technical Sciences
Yuliia Ostapchuk, student
Yuliia Kunyk, student
National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnic Institute", Kyiv, Ukraine

STUDY OF ELEKTROMAGNETIC PROCESSES IN SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH SIX ZONED REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE AT ACCOUNT OF THE LOSSES IN KEY ELEMENT

Проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси в електричних колах. Проведено системний аналіз електромагнітних процесів у модуляційному напівпровідниковому перетворювачі з багатозонним регулюванням вихідної напруги з активно-індуктивним навантаженням. Досліджено електромагнітні процеси у напівпровідниковому перетворювачі модуляційного типу у декілька етапів з різними початковими припущеннями. Спочатку ключеві елементи були ідеальними, а потім проводилось урахування втрат у них.

Ключові слова: *електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм, напівпровідниковий перетворювач.*

Проведено анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создано математическую модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Приведены графики, которые отражают электромагнитные процессы в электрических цепях. Проведено системный анализ электромагнитных процессов в модуляционном полупроводниковом преобразователе с многозонным регулированием выходного напряжения с активно-индуктивной нагрузкой. Исследованы электромагнитные процессы в полупроводниковом преобразователе модуляционного типа в несколько этапов с разными начальными допущениями. Сначала ключевые элементы были идеальными, а потом проводился учет потерь в них.

Ключевые слова: *электромагнитные процессы, выходные напряжение и ток, полупроводниковый преобразователь.*

Analysis of the electromagnetic processes is organized beside this article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis electro-magnetic processes in semiconductor converter with width pulsed regulation of the output voltage. The broughted graphs, which reflect the electromagnetic processes in electric circuit. The system analysis of the electromagnetic processes is organized in inflexion of the semiconductor converters with much zoned regulations of the output voltage with actively-inductive load. Study of the electromagnetic processes is organized In work in semiconductor converter inflexion type in several stages with different initial admissions. A first key element were ideal, but was afterwards conducted account of the losses in them.

Key words*: electromagnetic processes, output voltage and current, semiconductor converter.*

Тенденції якісного перетворення електричної енергії, а також успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установ-

ках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. У роботах [1–3] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У цій роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ як ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при шестизонному керуванні.

Метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакета MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами при урахуванні втрат у ключових елементах напівпровідникового перетворювача.

Узагальнена структурна схема напівпровідникового перетворювача (НПП) показана на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМ*A*, СМ*B,* СМ*C* – силові модулятори (СМ) фазних напруг *A*, *B* і *C* відповідно, ВВ – високочастотний випрямляч, Н – навантаження. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, являє собою ланку високої частоти перетворювача.

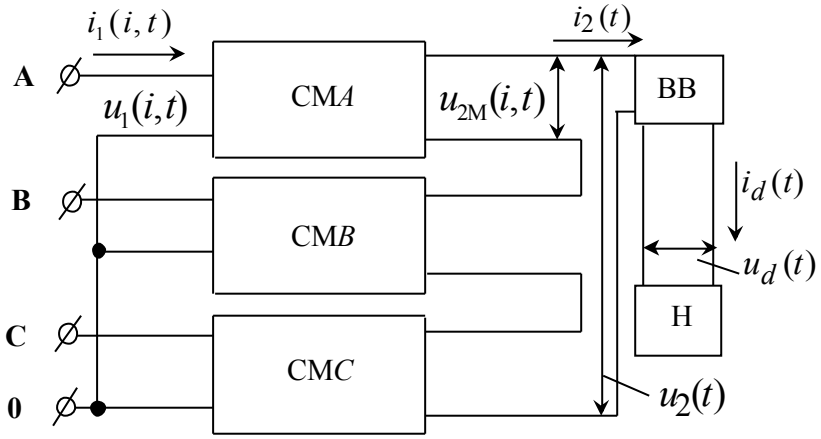


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином, кожен СМ має у своєму складі N інверторів випрямленої напруги (ІВН), де N – це кількість інверторів.

Створення математичної моделі перетворювача передбачає розроблення математичного забезпечення, спроможного провести аналіз його електромагнітних процесів відносно енергії, яка генерується, з урахуванням характеру навантаження, енергії, яка при цьому споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і окремими елементами перетворювача.

Під час складання математичної моделі перетворювача із комп'ютерною орієнтацією її застосування використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій, який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, при якому в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень попередньо випрямлених фазних напруг $u_1(i,t)$, частоти ω_1, трифазної енергетичної мережі відповідними еквівалентними модулюючими

впливами $\psi(p,N,t)$, частоти ω_2. У результаті такої операції на виході кожного з ІВН формується промодульована напруга

$$u_{2\text{м}}(p,i,t) = \frac{1}{k_\text{т}} u_1(i,t)\phi(i,t)\psi(p,N,t), \tag{1}$$

де i = 1, 2, 3 – номери фаз енергетичної мережі; $k_\text{т}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора; p = 1, 2, 3, …, N – номери зон регулювання; $\phi(i,t)$ – функції прямокутного синуса, які збігаються за часом з положенням фазних напруг мережі; $u_1(i,t)$ – миттєві значення вхідної напруги мережі.

Функції прямокутного синуса подаються, як

$$\phi(i,t) = \text{sign}\left\{\sin\left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3}\right)\right\}, \tag{2}$$

а миттєві значення вхідної напруги мережі представлені у вигляді

$$u_1(i,t) = U_{1m}\sin\left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3}\right), \tag{3}$$

U_{1m} – амплітудне значення фазної напруги, а вихідна напруга $u_\text{н}(t)$ подається виразом

$$u_\text{н}(t) = \frac{1}{k_\text{т}}\sum_{P=1}^{6}\sum_{i=1}^{3} u_1(i,t)\phi(i,t)\psi(p,N,t)v(t), \tag{4}$$

де $v(t)$ – функція прямокутного синуса, яка збігається за часом з положенням вихідної напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача.

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)). \tag{5}$$

Струм навантаження знайдемо як реакцію одноконтурного *RL*-ланцюга на дію напруги (5). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру перетворювача, представимо у вигляді

$$D(t,y) = \frac{u_\text{н}(t)}{L} - \frac{R}{L}y_0, \tag{6}$$

де y_0 – визначається з початкових умов; R і L – відповідно активний опір й індуктивність навантаження.

Рішення (6) відносно струму навантаження визначимо числовим методом у вигляді матриці

$$i_\text{н}(t) = \text{rkfixed}(y,0,k,s,D), \tag{7}$$

де y – вектор початкових умов; 0, k – часовий інтервал рішень; s – кількість точок на часовому інтервалі рішень; D – вектор функції диференційних рівнянь.

Вхідний струм високочастотного випрямляча має вигляд

$$i_2(t) = i_\text{н}(t)v(t). \tag{8}$$

Для визначення вхідних струмів інверторів *i*-х фаз для кожної *p*-ї зони регулювання врахуємо, що $i_2(t)$ протікає у загальному контурі всіх СМ.

При цьому в загальному вигляді

$$i_1(p,i,t) = \frac{i_2(t)\psi(\alpha_P,t)\phi(i,t)}{k_\text{т}}. \tag{9}$$

Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за виразом (7) для шестизонного регулювання, представлені на рис. 2.

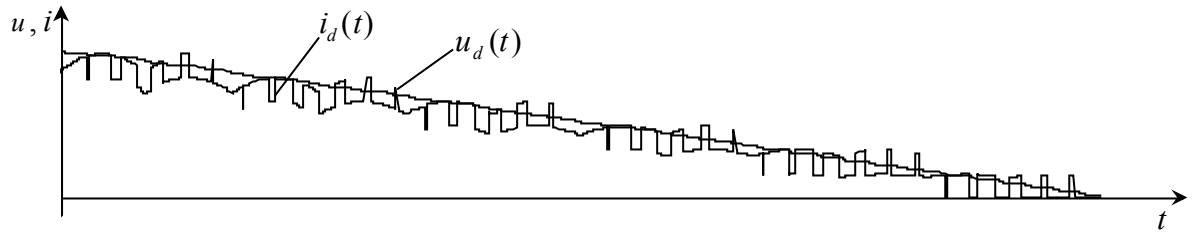


Рис. 2. Часові діаграми струму і напруги навантаження та вхідних струмів інверторів у координатах фазних напруг енергетичної мережі

Для визначення струмів *i*-х фаз енергетичної мережі у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги виконаємо сумування вхідних струмів інверторів усіх зон регулювання в кожній з *i*-й фазі. Враховуючи рівняння (9), загальний вираз для струмів *i*-х фаз енергетичної мережі подамо у вигляді

$$i_1(i,t) = i_1(1,i,t) + i_1(2,i,t) + i_1(3,i,t) + i_1(4,i,t) + i_1(5,i,t) + i_1(6,i,t), \qquad (10)$$

де $i_1(1,i,t)$, $i_1(2,i,t)$, $i_1(3,i,t)$, $i_1(4,i,t)$, $i_1(5,i,t)$, $i_1(6,i,t)$ – вхідні струми інверторів *i*-х фаз для першої, другої, третьої, четвертої, п'ятої та шостої зон регулювання.

Часові діаграми вхідних струмів *i*-х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (10) для трьохзонного регулювання, представлені на рис. 3.

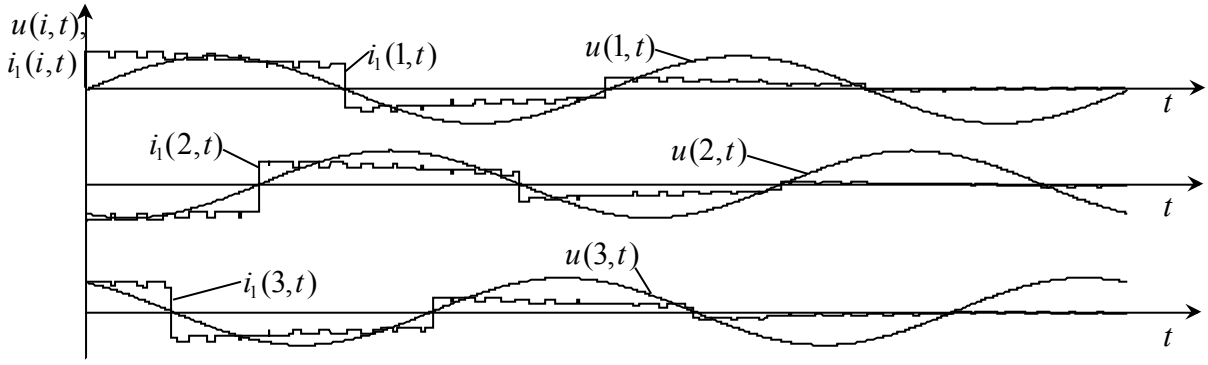


Рис. 3. Часові діаграми вхідних струмів і-х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг

Системний підхід до аналізу дозволяє на другому його етапі, що характеризує вплив під час руху системи зовнішніх і внутрішніх факторів, провести уточнення попередніх досліджень, беручи до уваги нові припущення, наприклад, відносно неідеальності внутрішніх опорів ключових елементів.

Врахуємо падіння напруги на діодах випрямлячів вхідної фазної напруги. Тоді напруга $u_d^{\text{e}}(i,t)$ на виході випрямляча кожної *i*-ї фази мережі живлення визначається з виразу

$$u_d^{\text{e}}(i,t) = u_1(i,t)W_1(i,t) + u_1(i,t)W_2(i,t) - 2(r_1 i_1(p,i,t) + \Delta_1)W_1(i,t) - 2(r_1 i_1(p,i,t) + \Delta_1)W_1(i,t), \qquad (11)$$

де $W_1(i,t)$, $W_2(i,t)$ – еквівалентні знакові функції вихідної напруги мережі, r_1 – внутрішній опір діода випрямляча, Δ_1 – порогове значення напруги діода.

Еквівалентні знакові функції вихідної напруги ПСЕЖ подамо умовними виразами вигляду

$$W_1(i,t) = \text{if}(u_1(i,t) \geq 0, 1, 0); W_2(i,t) = \text{if}(u_1(i,t) < 0, -1, 0); \; W_3(i,t) = W_1(i,t) + W_2(i,t). \qquad (12)$$

При реалізації ШІР вихідної напруги перетворювача силові ключі ІВН, за умов їхнього управління імпульсами напруги типу "меандр", беруть участь у двох процесах

перетворення енергії, а саме: у споживанні енергії навантаженням (у провідному стані знаходяться відповідні пари транзисторів ІВН) та розсіянні енергії в контурі навантаження (у провідному стані знаходяться відповідні пари, що складаються з транзисторів та діодів ІВН). Величини напруг, що прикладаються до первинних обмоток узгоджувальних трансформаторів ІВН, відрізняються від рівня напруги живлення, що припускалось за умов ідеалізації силових ключів, на величини падіння напруг на внутрішніх опорах ключових елементів перетворювача.

У припущенні того, що структурні зміни стосовно замкнених кіл проходження струму високочастотної ланки перетворювача в кожному з ІВН у процесі роботи перетворювача відбуваються миттєво, подамо умовне рівняння, яке відображає функціональну наявність опорів окремих пар ключових елементів. При цьому, враховуючи знакову функцію вхідного струму на інтервалах споживання та розсіяння енергії в колі навантаження, отримаємо

$$r_{\text{ВН}}^{\text{e}}(p,i,t)=\text{if}\left(\text{sign}\left(i_d(p,i,t)\right)>0, R1(i_2(t)), R2(i_2(t))\right), \tag{13}$$

де $\text{sign}\left(i_d(p,i,t)\right)=\dfrac{i_d(p,i,t)}{\left|i_d(p,i,t)\right|}$ – знакові функції вхідних струмів, що залежно від характеру навантаження та алгоритму управління ключами можуть набувати значення 1, 0; $r_{\text{ВН}}^{\text{e}}(p,i,t)$ – еквівалентний внутрішній опір ключових елементів p-го ІВН, який набуває функціонального значення $R1(i_2(t))$ за умови, коли $\text{sign}\left(i_d(p,i,t)\right)>0$, інакше дорівнює $R2(i_2(t))$, що відповідає випадку, коли $\text{sign}\left(i_d(p,i,t)\right)=0$. Опори $R1(i_2(t))$ та $R2(i_2(t))$ можуть вибиратись як сума диференціальних значень опорів відповідних силових транзисторів чи транзисторів і діодів, або залежними від вихідного струму $i_2(t)$ ланки високої частоти.

Варто наголосити на тому, що вираз (13) подає функціональний еквівалентний внутрішній опір p-го ІВН, який впливає на величину спаду напруги на первинній, а отже, і на вторинній обмотках p-го вихідного трансформатора залежно від величини і характеру струму високочастотної ланки перетворювача, що протікає через нього. Враховуючи цю обставину, спад напруги $u_{\text{ВН}}^{\text{e}}(p,i,t)$ на еквівалентному внутрішньому опорі p-го ІПН подамо, як

$$u_{\text{ВН}}^{\text{e}}(p,i,t)=\frac{i_2(t)r_{\text{ВН}}^{\text{e}}(p,i,t)}{k_{\text{T}}}. \tag{14}$$

Тоді з урахуванням (14) вираз, який описує вихідну напругу $u_2^{\text{e}}(p,N,t)$ p-го ІВН, набуде вигляду

$$u_2^{\text{e}}(p,i,t)=\frac{u_d^{\text{e}}(t)\psi^{\text{e}}(p,i,t)-u_{\text{ВН}}^{\text{e}}(p,i,t)}{k_{\text{T}}}, \tag{15}$$

де $\dfrac{u_d^{\text{e}}(t)\psi^{\text{e}}(p,i,t)}{k_{\text{T}}}=u_2(p,i,t)$ – вихідна напруга p-го ІВН перетворювача, що не враховує падіння напруги на еквівалентному внутрішньому опорі його ключових елементів, однак враховує падіння напруги на внутрішніх опорах діодів вхідного випрямляча.

Напруга за (15) є складовою частиною вихідної напруги ланки високої частоти. З цього випливає, що

$$u_2^{\text{e}}(N,t)=\sum_{p=1}^{N}\frac{u_d^{\text{e}}(t)\psi^{\text{e}}(p,N,t)-u_{\text{ВН}}^{\text{e}}(p,N,t)}{k_{\text{T}}}, \tag{16}$$

де $u_2^{\text{e}}(N,t)$ – вихідна напруга ланки високої частоти НПП, що враховує падіння напруги на еквівалентному внутрішньому опорі ключових елементів всієї множини ІВН.

Тоді напругу на навантаженні, що враховує падіння напруги на діодах високочастотного випрямляча, подамо виразом вигляду

$$u_{\text{Н}}^{\text{e}}(N,t)=u_2^{\text{e}}(N,t)L_1(t)+u_2^{\text{e}}(N,t)-2(r_2i_2(t)+\Delta_2)L_1(t)-2(r_2i_2(t)+\Delta_2)L_1(t), \tag{17}$$

де $L_1(t), L_2(t)$ – еквівалентні знакові функції вихідної напруги ланки високої частоти; r_2 – внутрішній опір діода високочастотного випрямляча; Δ_2 – порогове значення напруги діода.

$$L_1(t)=\text{if}(u_2^{\text{e}}(N,t)\ge 0,1,0);\ L_2(t)=\text{if}(u_2^{\text{e}}(N,t)<0,-1,0);\ L_3(t)=L_1(t)+L_2(t). \tag{18}$$

Миттєві значення струму навантаження з урахуванням внутрішніх опорів транзисторів та діодів перетворювача визначимо з алгебраїчних рівнянь, які повністю повторюють вирази (6) і (7).

Визначимо вихідний струм $i_2^{\text{e}}(t)$ ланки високої частоти з виразу вигляду

$$i_2^{\text{e}}(t)=i_{\text{Н}_k}^{\text{e}}(t)L_3(t). \tag{19}$$

Вхідні струми ІВН $i_1(p,i,t)$ можуть бути визначені з виразу

$$i_1(p,i,t)=\frac{i_2^{\text{e}}(t)\phi(i,t)\psi(p,N,t)}{k_{\text{T}}}. \tag{20}$$

Загальний вираз для струмів i-х фаз енергетичної мережі подамо у вигляді

$$i_1^{\text{e}}(i,t)=i_1^{\text{e}}(1,i,t)+i_1^{\text{e}}(2,i,t)+i_1^{\text{e}}(3,i,t)+\ldots+i_1^{\text{e}}(p,i,t), \tag{21}$$

де $i_1^{\text{e}}(1,i,t)$, $i_1^{\text{e}}(2,i,t)$, $i_1^{\text{e}}(3,i,t)$, $i_1^{\text{e}}(p,i,t)$ – вхідні струми ІВН i-х фаз на інтервалах першої, другої, третьої та p-ї зони регулювання.

Діаграми струмів i-х фаз мережі живлення при врахуванні втрат у ключових елементах НПП у координатах фазної напруги наведені на рис. 4.

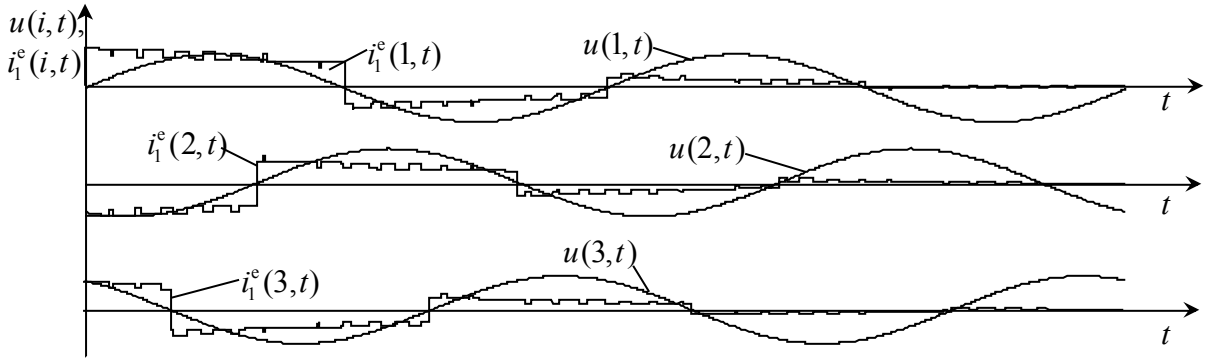


Рис. 4. Часові діаграми вхідних струмів і-х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг під час врахування втрат у ключових елементах НПП

Подальші уточнення під час моделювання процесів можуть відноситись до врахування внутрішніх параметрів мережі живлення щодо їхніх еквівалентних опорів та індуктивностей, зміни внутрішніх параметрів навантаження та комплексного аналізу процесів щодо впливів можливих зовнішніх та внутрішніх факторів.

Висновки і пропозиції. Системний аналіз електромагнітних процесів у НПП модуляційного типу дозволяє проведення моделювання у декілька етапів з різними початковими припущеннями, розглядаючи НПП як систему зі своєю структурною побудовою,

що визначає внутрішні впливи, в середовищі надсистеми зі своїми системами, які ззовні впливають на НПП.

Підтверджено доцільність використання програмного пакета MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

Список використаних джерел

1. *Макаренко М. П.* Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Электроника и связь. – 2002. – № 14. – С. 73–75.

2. *Патент* 18750 Україна. МПК H02M 1/02. Інвертор напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко, В. В. Пілінський ; заявник та власник патенту НТУУ "КПІ" ; заявл. 31.05.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

3. *Патент* 20985 Україна. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко ; заявник та власник патенту НТУУ "КПІ" ; заявл. 18.09.2006 ; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

УДК 621.3.011.74.005

В.В. Михайленко, канд. техн. наук
Ю.М. Чуняк, асистент
Ю.Ю. Остапчук, студентка
К.А. Ніколаєва, студентка
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ШІСТНАДЦЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

В.В. Михайленко, канд. техн. наук
Ю.М. Чуняк, ассистент
Ю.Ю. Остапчук, студентка
К.А. Николаева, студентка
Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ШЕСТНАДЦАТИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Vladyslav Mykhailenko, PhD in Technical Sciences
Yuliia Chuniak, assistant
Yuliia Ostapchuk, student
Kateryna Nikolaieva, student
National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN SEMICONDUCTOR CONVERTER WITH SIXTEEN ZONE BY REGULATION OF THE OUTPUT VOLTAGE

Проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси в електричних колах. Проведено системний аналіз електромагнітних процесів у модуляційному напівпровідниковому перетворювачі з шістнадцятизонним регулюванням вихідної напруги з активно-індуктивним навантаженням. Проведено дослідження електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі модуляційного типу. Ключові елементи були прийняті ідеальними.

Ключові слова: *електромагнітні процеси, вихідні напруга та струм.*

Проведен анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создана математическая модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Приведены графики, которые отражают электромагнитные процессы в электрических цепях. Проведено системный анализ электромагнитных процессов в модуляционном полупроводниковом преобразователе с шестнадцатизонным регулированием выходного напряжения с активно-индуктивной нагрузкой. Проведено исследование электромагнитных процессов в полупроводниковом преобразователе модуляционного типа. Ключевые элементы были приняты идеальными.

Ключевые слова: *электромагнитные процессы, выходные напряжение и ток.*

Analysis of the electromagnetic processes is organized beside this article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis electro-magnetic processes in semiconductor converter with width pulsed regulation of the output voltage. The broughted graphs, which reflect the electromagnetic processes in electric circuit. The system analysis of the electromagnetic processes is organized in inflexion of the semiconductor converters with sixteen zoned regulations of the output voltage with actively-inductive load. Study of the electromagnetic processes is organized in work in semiconductor converter inflexion type. Key element were ideal.

Key words*: electromagnetic processes, output voltage and current.*

Перетворення електричної енергії, а також успіхи у розвитку напівпровідникової техніки дозволяють використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою перемикання вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі. У роботах [1–3] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У цій роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ як ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при шістнадцятизонному керуванні.

Метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакета MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами з шістнадцятизонним регулюванням вихідної напруги.

Структурна схема напівпровідникового перетворювача (НПП) показана на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМ*A*, СМ*B,* СМ*C* – силові модулятори (СМ) фазних напруг *A*, *B* і *C* відповідно, ВВ – високочастотний випрямляч, Н – навантаження. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, являє собою ланку високої частоти перетворювача.

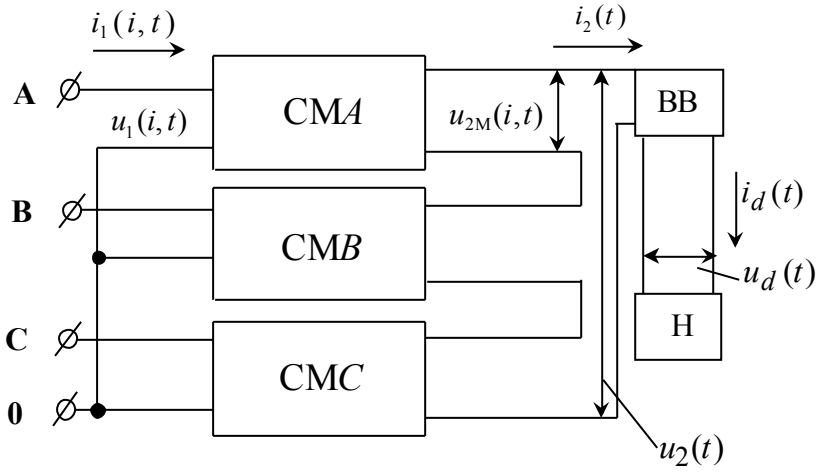


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином, кожен СМ має у своєму складі *N* інверторів випрямленої напруги (ІВН), де *N* – це кількість інверторів.

Створення математичної моделі перетворювача передбачає розроблення математичного забезпечення, спроможного провести аналіз його електромагнітних процесів відносно енергії, яка генерується, з урахуванням характеру навантаження, енергії, яка при

цьому споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і окремими елементами перетворювача.

Під час складання математичної моделі перетворювача із комп'ютерною орієнтацією її застосування використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій, який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори й діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Така структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів електромагнітної енергії мережі, за якого в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень попередньо випрямлених фазних напруг $u_1(i,t)$, частоти ω_1, трифазної енергетичної мережі відповідними еквівалентними модулюючими впливами $\psi(p,N,t)$, частоти ω_2. У результаті такої операції на виході кожного з ІВН формується промодульована напруга

$$u_{2\text{м}}(p,i,t) = \frac{1}{k_\text{т}} u_1(i,t)\phi(i,t)\psi(p,N,t), \tag{1}$$

де i = 1, 2, 3 – номери фаз енергетичної мережі; $k_\text{т}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора; p = 1, 2, 3, …, N – номери зон регулювання; $\phi(i,t)$ – функції прямокутного синуса, що збігається за часом з положенням фазних напруг мережі; $u_1(i,t)$ – миттєві значення вхідної напруги мережі.

Функції прямокутного синуса подаються, як

$$\phi(i,t) = \text{sign}\left\{\sin\left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3}\right)\right\}, \tag{2}$$

а миттєві значення вхідної напруги мережі представлені у вигляді

$$u_1(i,t) = U_{1m}\sin\left(\omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3}\right), \tag{3}$$

U_{1m} – амплітудне значення фазної напруги, а вихідна напруга $u_\text{н}(t)$ подається виразом

$$u_\text{н}(t) = \frac{1}{k_\text{т}}\sum_{P=1}^{16}\sum_{i=1}^{3} u_1(i,t)\phi(i,t)\psi(p,N,t)v(t), \tag{4}$$

де $v(t)$ – функція прямокутного синуса, що збігається за часом з положенням вихідної напруги $u_2(t)$ ланки високої частоти перетворювача.

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)). \tag{5}$$

Струм навантаження знайдемо як реакцію одноконтурного *RL*-ланцюга на дію напруги (5). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру перетворювача, представимо у вигляді

$$D(t,y) = \frac{u_\text{н}(t)}{L} - \frac{R}{L}y_0, \tag{6}$$

де y_0 – визначається з початкових умов; R і L – відповідно активний опір й індуктивність навантаження.

Рішення (6) відносно струму навантаження визначимо числовим методом у вигляді матриці

$$i_{\text{Н}}(t) = \text{rkfixed}\left(y, 0, k, s, D\right), \tag{7}$$

де y – вектор початкових умов; 0, k – часовий інтервал рішень; s – кількість точок на часовому інтервалі рішень; D – вектор функції диференційних рівнянь.

Вхідний струм високочастотного випрямляча має вигляд

$$i_2(t) = i_{\text{Н}}(t)v(t). \tag{8}$$

Для визначення вхідних струмів інверторів i-х фаз для кожної p-ї зони регулювання врахуємо, що $i_2(t)$ протікає в загальному контурі всіх СМ.

При цьому в загальному вигляді

$$i_1(p,i,t) = \frac{i_2(t)\psi(\alpha_P,t)\phi(i,t)}{k_{\text{Т}}}. \tag{9}$$

Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за виразом (7) для шістнадцятизонного регулювання, представлені на рис. 2.

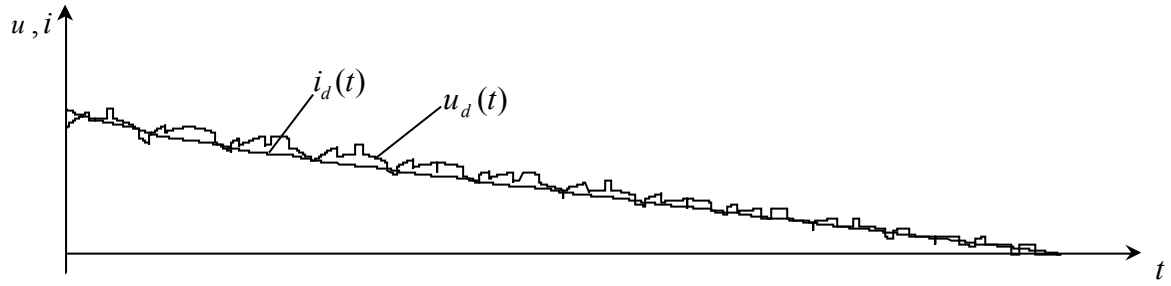


Рис. 2. Часові діаграми струму і напруги навантаження та вхідних струмів інверторів в координатах фазних напруг енергетичної мережі

Для визначення струмів i-х фаз енергетичної мережі у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги виконаємо додавання вхідних струмів інверторів усіх зон регулювання в кожній з i-й фазі. Враховуючи рівняння (9), загальний вираз для струмів i-х фаз енергетичної мережі подамо у вигляді

$$i_1(i,t) = i_1(1,i,t) + i_1(2,i,t) + i_1(3,i,t) + i_1(4,i,t) + \ldots + i_1(16,i,t), \tag{10}$$

де $i_1(1,i,t)$, $i_1(2,i,t)$, $i_1(3,i,t)$, $i_1(4,i,t)$, $i_1(16,i,t)$ – вхідні струми інверторів i-х фаз для першої, другої, третьої, четвертої та шістнадцятої зон регулювання.

Часові діаграми вхідних струмів i-х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (10) для трьохзонного регулювання, представлені на рис. 3.

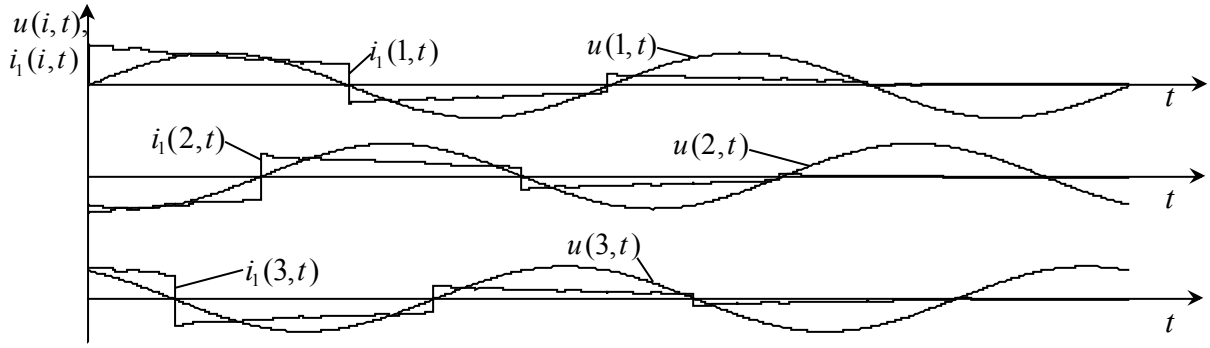


Рис. 3. Часові діаграми вхідних струмів і-х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг

Системний підхід до аналізу дозволяє на другому його етапі, що характеризує вплив під час руху системи зовнішніх і внутрішніх факторів, провести уточнення попередніх досліджень, беручи до уваги нові припущення, наприклад, відносно неідеальності внутрішніх опорів ключових елементів.

Подальші уточнення під час моделювання процесів можуть відноситись до врахування внутрішніх параметрів мережі живлення щодо їхніх еквівалентних опорів та індуктивностей, зміни внутрішніх параметрів навантаження та комплексного аналізу процесів щодо впливів можливих зовнішніх та внутрішніх факторів.

Висновки і пропозиції. Підтверджено доцільність використання програмного пакета MATHCAD для аналізу електромагнітних процесів та оптимізації параметрів напівпровідникових перетворювачів. Такий підхід дозволяє зменшити нестабільність режимів у технологічному навантаженні та режимів споживання електроенергії від мережі електроживлення.

У подальшому можна провести моделювання у декілька етапів з різними початковими припущеннями, розглядаючи НПП як систему зі своєю структурною побудовою, що визначає внутрішні впливи, в середовищі надсистеми зі своїми системами, які ззовні впливають на НПП.

Список використаних джерел

1. *Макаренко М. П.* Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко // Электроника и связь. – 2002. – № 14. – С. 73–75.

2. *Патент* 18750 Україна. МПК H02M 1/02. Інвертор напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко, В. В. Пілінський ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 31.05.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

3. *Патент* 20985 Україна. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко ; заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” ; заявл. 18.09.2006 ; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

УДК 621.3.038.616

А.Л. Приступа, канд. техн. наук
А.В. Галюга, аспірант
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ДІЮЧИХ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

А.Л. Приступа, канд. техн. наук
А.В. Галюга, аспирант
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОЦЕНКА ДЕЙСТВУЮЩИХ МЕТОДИК РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Anatolii Prystupa, PhD in Technical Sciences
Andrii Haliuha, PhD student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

EVALUATION OF EXISTING METHODS OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL ELECTRIC POWER LOSSES IN DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS

Описано основні методики розрахунків та нормування технологічних витрат електричної енергії в діючих розподільних електричних мережах, висвітлено їх основні недоліки. Проведено порівняльний аналіз методик, визначено основні проблеми та подальші шляхи дослідження, спрямовані на підвищення точності нормування технологічних витрат електричної енергії, а саме врахування під час розрахунків зміни механічних характеристик провідників.

Ключові слова: *технологічні витрати електричної енергії, активний опір проводу, математична модель.*

Описаны основные методики расчетов и нормирования величины технологического расхода электрической энергии в действующих распределительных электрических сетях, отмечены их основные недостатки. Проведен сравнительный анализ методик, определены основные проблемы и дальнейшие пути их исследования, направленные

на повышение точности расчета нормирования технологического расхода электроэнергии, а именно с учетом при расчетах изменений механических характеристик проводников.

Ключевые слова: *технологический расход электроэнергии, активное сопротивление провода, математическая модель.*

The article describes the basic methods of calculation and rationing value of technological consumption of electric energy, marked their main drawbacks. The main problems and solutions have been identified to improve the accuracy of the calculation of technological consumption of electric energy.

Key words: *technological consumption of electric energy, resistance wire, mathematical model.*

Постановка проблеми. Проблема витрат електроенергії при її транспортуванні є досить гострою для електроенергетики. За статистикою, саме в розподільчих мережах (РМ) щорічно фактичні технологічні витрати сягають 20 % від відпущеної з шин знижувальних підстанцій електроенергії, що істотно впливає на тарифи на електроенергію. Судячи зі статистичних даних російського Холдингу «МРСК» [3], більша частина структури технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) припадає на витрати електричної енергії у проводах ліній електропередач ЛЕП (рис. 1), виходячи з аналогічної структури та конфігурації електричних мереж такою ж є ситуація і в Україні та інших країнах колишнього Радянського Союзу. Перевищення нормативних показників технологічних витрат електричної енергії через недовраховані при нормуванні величини ТВЕ параметри приносить значні збитки енергопостачальним компаніям. Тому найбільш актуальними є заходи щодо зниження величини ТВЕ та уточнення методик їх розрахунку саме у проводах ЛЕП.

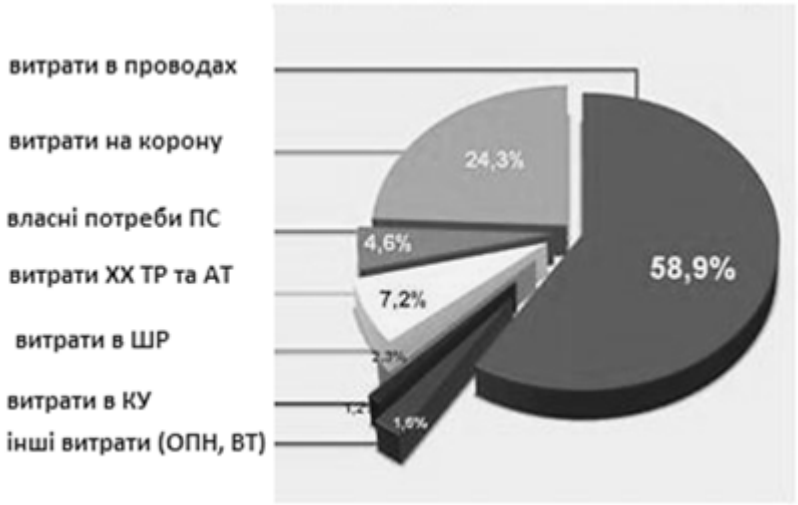


Рис. 1. Структура технологічних витрат електричної енергії

Аналіз досліджень і публікацій. На теренах колишнього Радянського Союзу розроблено та були діючими багато методик розрахунку й нормування витрат електричної енергії [6]:

1. «Временные нормативы по эксплуатации городских и сельских электрических сетей» (Министерство коммунального хозяйства РСФСР).

2. «Временная инструкция по расчету и анализу потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем («Уралтехэнерго»).

3. «Инструкция по расчету и анализу технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений» (ВНИИЭ и «Уралтехэнерго»).

4. «Методические рекомендации по определению потерь электрической энергии в городских электрических сетях напряжением 10(6) – 0,4 кВ» («Роскоммунэнерго» и ЗАО «АСУ Мособлэлектро»).

Вказані методики використовують схожі залежності для розрахунку постійних та змінних складових витрат електричної енергії. На їх основі розроблено потужні про-

грамні апарати для автоматизованого розрахунку значення технологічних витрат [6]. У зв'язку з тим, що величина технологічних витрат електричної енергії залежить як від режимних параметрів мережі (навантаження у вузлах, характеристики перетоки активної та реактивної потужності), так і від конструктивних (каталожних) параметрів елементів мережі та враховуючи велику протяжність та розгалуженість розподільних електричних мереж, а також недостатній рівень інформаційного забезпечення, уточнення в методиках розрахунку ТВЕ здебільшого вносились у частині методів розрахунку режимних параметрів мережі.

У методиці визначення технологічних витрат електричної енергії [1], яка діюча в Україні, технологічні витрати активної електричної енергії обчислюються за такою формулою:

$$\Delta W_{\text{П}}^{(P)} = a \cdot I^2 \cdot R_{EK} \cdot k_{\text{ф}} \cdot \text{T}_{\text{Р}} \cdot 10^{-3} \left(\text{кВт}\right), \quad (1)$$

де a – коефіцієнт, що для однофазної мережі дорівнює 2, для трифазної – 3;

I – величина струму, що протікає в елементі, А;

R_{EK} – еквівалентний опір електричного кола, Ом;

$k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт форми графіка навантаження;

$\text{T}_{\text{Р}}$ – час роботи обладнання протягом розрахункового періоду, год.

Величина питомого опору жил кабелів та проводів, необхідна для розрахунку еквівалентного опору повітряної лінії, визначається за формулою [1]:

$$R_{\text{П}} = R_0 \cdot \left(1 + a\left(\theta - \theta_0\right)\right), \quad (2)$$

де R_0 – питомий активний опір ділянки проводу (кабелю) визначений за температури θ_0, Ом/км;

a – температурний коефіцієнт опору, 1/°С;

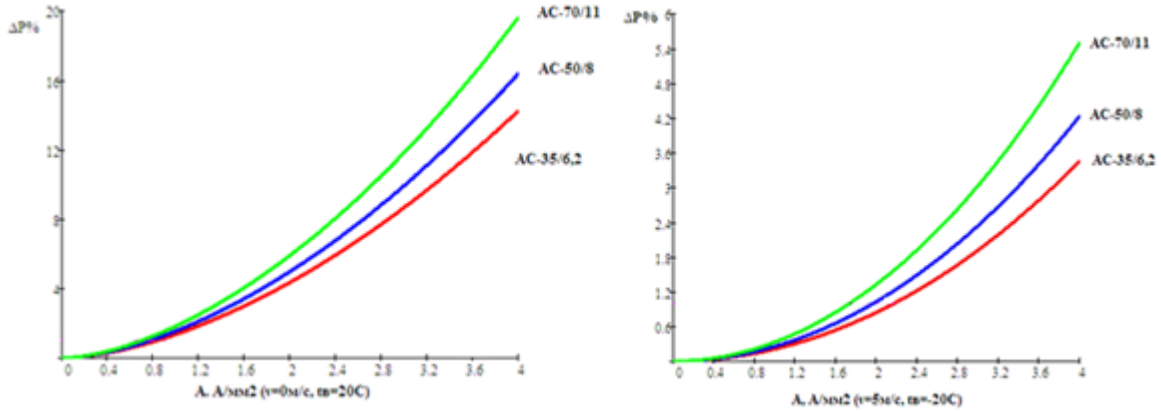
θ – температура навколишнього середовища, °С (приймається середньомісячною).

Питанню уточнення методик розрахунку ТВЕ через врахування температури проводу приділені праці таких учених, як А.А. Герасименко, Г.С. Тимофєєв, А.В. Тихонович [4], В.Е. Воротницький [2] та інші.

Мета статті. Метою цієї статті є аналіз діючих методик розрахунку витрат електричної енергії у проводах ЛЕП. Визначення основних факторів, що впливають на точність розрахунку витрат та виділення напряму подальших досліджень у галузі уточнення розрахунків та внесення поправок до діючих методик розрахунку.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні на теренах Російської Федерації діюча методика [7], застосування якої дає уточнення значення ТВЕ. Питомий опір жил кабелів та проводів згідно з методикою [7] розраховується за формулою, аналогічною формулі (2), з тією відмінністю, що замість температури повітря в ній використовується температура поверхні проводу.

На рис. 2–5 наведені криві залежностей зміни величини ТВЕ ΔР%, що розраховані для різних параметрів навколишнього середовища за методикою [2] щодо методики [1], для найбільш вживаних у розподільних мережах марок проводів (АС-35/6,2, АС-50/8, АС-70/11).



а *б*

Рис. 2. Різниця у розрахунку ТВЕ між методиками від щільності струму в найважчому (а) та найлегшому (б) режимі охолодження

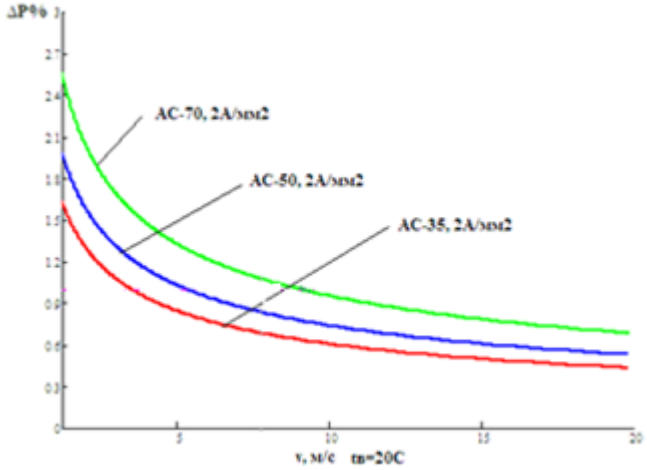


Рис. 3. Різниця у розрахунку ТВЕ між методиками залежно від швидкості вітру

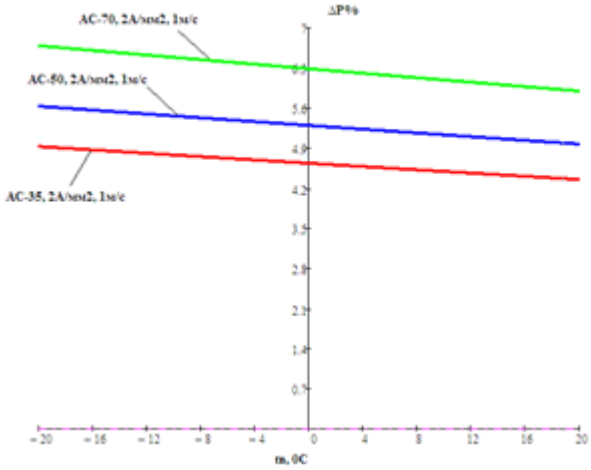


Рис. 4. Різниця у розрахунку ТВЕ між методиками залежно від температури повітря

Судячи з аналізу наведених кривих, можна зробити висновки про те, що прийняття за температуру проводу температури навколишнього середовища є припустимим (різниця між методами менше 1 %) при значеннях щільності струму до 0,8 А/мм^2 у найважчому режимі охолодження проводу (рис. 2, *а*) та до 1,6 А/мм^2 у найлегшому режимі охолодження (рис. 2, *б*).

У випадках розрахунків величини активного опору та величини ТВЕ з урахуванням швидкості вітру різниця до 1 % забезпечується при швидкостях вітру від 5 до 10 м/с

залежно від величини поперечного перерізу провідника. У випадках малих перерізів (для прикладу з проводом АС-35, рис. 3) згадана різниця забезпечується при будь-яких швидкостях вітру за умови щільності струму до 1,6 А/мм^2. Виходячи з кривих на рис. 4, різниця між методиками від 4 до 7 % забезпечується у всьому діапазоні температур навколишнього середовища (при щільності струму 2 А/мм^2 та швидкості вітру до 2 м/с). Тобто методика [7] є більш точною у випадку струмових навантажень порядку 2 А/мм^2, що є характерним для головних фідерів ПЛ-35 та 10кВ, а також ПЛ-0,4 кВ.

На сьогодні ні методика [1], ні [7] не враховують величини зміни поперечного перерізу провідника під впливом механічних напружень, що виникають при зміні навантажень на провід та процесу старіння проводу.

У процесі експлуатації ПЛ на проводи та лінійну арматуру діють статичні (вагові), вітрові, ожеледні та кліматичні (температурні) навантаження [8]. Під час проектування ЛЕП та в різних методиках оцінювання стану, в тому числі у сучасних системах температурного моніторингу, проводи приймаються «гнучкими нитками», тобто не враховується поперечна деформація. Згідно з даними вимірювань поперечного перерізу проводів, отриманих з ПЛ, що тривалий час експлуатуються (30–40 років), спостерігається зменшення поперечного перерізу алюмінієвих та сталеалюмінієвих проводів від 5 до 10 %. Також під впливом навантаження провід зазнає поздовжньої деформації («повзучості»), яка взагалі не досліджена у вітчизняних методиках розрахунку механічних характеристик провідників. У роботі [5] автор зазначив необхідність урахування зносу проводів, пов’язаного з їх експлуатацією та його впливу на величину активного опору, але, на його думку, такий вплив урахувати дуже складно через недостатнє інформаційне забезпечення.

Розглянемо вплив зміни механічних характеристик провідників на величину питомого опору.

Активний опір проводів визначається за формулою:

$$R=\rho\frac{L}{S},\ R=\rho\frac{L}{S}, \tag{3}$$

де R – питомий опір матеріалу проводу, Ом·мм^2/м;

L – довжина проводу, м;

S – площа поперечного перерізу провідника, мм^2.

На рис. 5 наведена залежність зміни активного опору проводів ПЛ (у відсотках) від лінійного видовження (збільшення довжини проводу в прогоні) та зменшення величини поперечного перерізу.

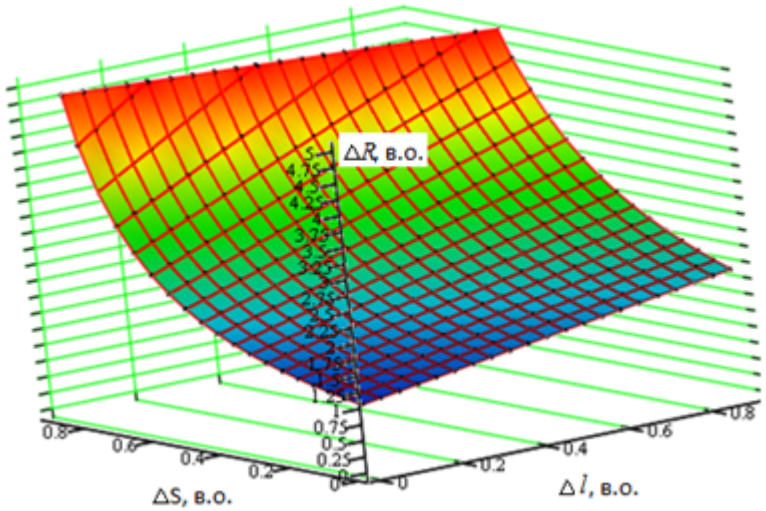


Рис. 5. Залежність зміни активного опору проводів ПЛ від лінійного видовження та зміни поперечного перерізу

Як видно з графіка, збільшення довжини проводів ПЛ у прогоні, обмежене регулюванням стріли провисання при капітальному ремонті та технічному обслуговуванні ПЛ, спричиняє незначний вплив на величину активного опору проводів.

У той же час зміна на 5–10 % поперечного перерізу приводить до збільшення опору приблизно на 20 %. Діючі методики нормування та розрахунку технологічних витрат електроенергії цю зміну не враховують. Тому для ПЛ, що перебувають в експлуатації тривалий час, значення нормативу ТВЕ може бути суттєво заниженим.

Індуктивний опір проводів ПЛ також залежить від геометричних розмірів поперечного перерізу і визначається за формулою [1]:

$$x_{П} = 0{,}144 \cdot \lg\left(\frac{S_{сг}}{r}\right) + 0{,}016, \; Ом, \tag{4}$$

де r – радіус проводу, м;

$S_{сг}$ – середньогеометрична відстань між проводами окремих фаз, м.

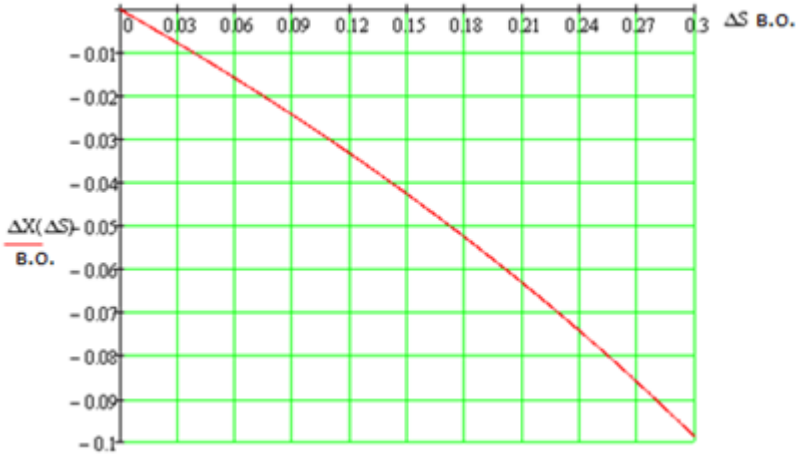


Рис. 6. Залежність зміни величини індуктивного опору проводів ПЛ від зміні поперечного перерізу

Однак, як видно з графіка, наведеного на рис. 6, зміна поперечного перерізу проводу навіть на величину до 20 % приводить до зменшення реактивної складової опору проводів не більше ніж на 5–6 %. Отже, можна вважати, що індуктивний опір проводів ЛЕП залишається незмінним протягом довгого строку експлуатації ЛЕП.

Висновки і пропозиції. Підсумовуючи вищесказане, можна відзначити, що діючі методики нормування та аналізу ТВЕ не враховують зміни поперечного перерізу провідника під впливом механічних напружень, що змінюються під дією зовнішніх факторів та струмового навантаження, яка суттєво впливає на зміну опору провідника, а отже, і на значення ТВЕ. Тому вбачається доцільним створення математичної моделі (на основі рівняння стану проводу, методик розрахунку температури проводу та математичних залежностей з опору матеріалів) для дослідження впливу зовнішніх умов та режимів роботи електричних мереж на зміни механічних характеристик та геометрії поперечного перерізу проводів ЛЕП у процесі експлуатації, для подальшого її використання під час уточнення наявних методик нормування та аналізу ТВЕ, нормування строку служби проводів ПЛ залежно від умов експлуатації.

Список використаних джерел

1. *Визначення* технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Методика: СОУ Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011. – К. : ГРІФРЕ : Мін-во енергетики та вугільної промисловості, 2011. – 65 с.

2. *Воротницкий В. Э.* Оценка погрешностей расчета потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучёта метеоусловий / В. Э. Воротницкий, О. В. Туркина // Электрические станции. – 2008. – № 10. – С. 42–49.

3. *Галюга А. В.* Щодо уточнення розрахунку технологічних витрат електричної енергії / А. В. Галюга, А. Л. Приступа // Збірник матеріалів науково-технічної конференції : тези конф. – Суми, 2014. – 182 с.

4. *Герасименко А. А.* Учет схемно-режимных и атмосферных факторов при расчете технологических потерь электроэнергии в распределительных сетях / А. А. Герасименко, Г. С. Тимофеев, А. В. Тихонович // Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия: Техника и технология. – 2008. – № 1(2). – С. 188–206.

5. *Дерзский В. Г.* Обоснование уровня нормативниых потерь элетроэнергии в распределительных сетях / В. Г. Дерзский, В. Ф. Скиба // Электрические сети и системы. – 2007. – № 6. – С. 30–41.

6. *Железко Ю. С.* Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях : руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М. : НЦ ЭНАС, 2004. – 208 с.

7. *Инструкция* по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям : утв. Приказом Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 326 (с изменениями).

8. *Крюков К. П.* Конструкции и механический расчет линии электропередачи / К. П. Крюков, Б. П. Новгородцев. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л. : Энергия, Ленингр. отд-ние, 1979. – 312 с.

УДК 621.314.12

А.С. Ревко, канд. техн. наук
С.Ю. Грозов, магістрант
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СТАБІЛІЗАТОРИ СТРУМУ НА ОСНОВІ КВАЗІРЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

А.С. Ревко, канд. техн. наук
С.Ю. Грозов, магистрант
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

СТАБИЛИЗАТОРЫ ТОКА НА ОСНОВЕ КВАЗИРЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Anatolii Revko, PhD in Technical Sciences
Serhii Hrozov, Master's Degree student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

CURRENT STABILIZERS ON THE BASIC OF QUASI-RESONANT CONVERTERS

Досліджено квазірезонансний перетворювач як стабілізатор струму. Проаналізовано електромагнітні процеси у квазірезонансному імпульсному перетворювачі, що перемикається при нульовому струмі з навантаженням у вигляді світлодіодів або акумулятора. Проведено моделювання процесів у такому перетворювачі.

Ключові слова: *КРІП-ПНС, джерело струму, живлення світлодіодів, електромагнітні процеси, моделювання КРІП-ПНС, зарядний пристрій на основі КРІП.*

Исследован квазирезонансный преобразователь в качестве стабилизаторов тока. Проанализированы электромагнитные процессы в квазирезонансном импульсном преобразователе, который переключается при нулевом токе с нагрузкой в виде светодиодов или аккумулятора. Проведено моделирование процессов в таком преобразователе.

Ключевые слова: *КРИП-ПНТ, источник тока, питание светодиодов, электромагнитные процессы, моделирование КРИП-ПНТ, зарядное устройство на основе КРИП.*

Investigated quasi-resonant converters as current stabilizers. The analysis of electromagnetic processes in quasi-resonant pulse converter, which switches at zero current to the load in the form of LEDs or battery. Conducted simulation of quasi resonant pulse converter.

Key words: *QRC-ZCS, current source, LED power, electromagnetic processes, simulation QRC-ZCS, battery charger, which based on QRC.*

Вступ. Сучасне народне господарство характеризується інтенсивним використанням систем силової електроніки, представниками якої є напівпровідникові перетворювачі електромагнітної енергії. Силова електроніка та її сфери, які пов'язані з перетворенням електричної енергії в електричну, є динамічним науково-технічним напрямом, з

використанням результатів якого розвиваються інші напрями електроніки. Створення нових і постійне вдосконалення потужних силових напівпровідникових приладів та їх застосування у перетворювачах електромагнітної енергії сприяє подальшому розширенню меж застосування систем силової електроніки. Як відомо з [1], електронні системи регулювання потужності розвиваються на основі двох істотно різних методів: методу регулювання коефіцієнта заповнення (широко відомого як метод широтно-імпульсної модуляції) і методу з використанням явища резонансу. У разі резонансного методу передача потужності відбувається при синусоїдальній формі струмів і напруги. При цьому силові ключі часто комутуються при нульовому струмі (“м’яке” вимкнення), проте їх включення супроводжується різким наростанням струму (“жорстке” увімкнення). Якщо резонансні перетворювачі працюють з частотою, вищою за частоту власного резонансу, то ключі різко вимикаються при ненульовому струмі (примусове або “жорстке” вимкнення), але вмикаються м’яко (при нульовій напрузі).

У [1] для поліпшення характеристик перемикання напівпровідникових приладів у силових регулюючих і перетворювальних пристроях був запропонований метод, який полягає в перемиканні при нульовому струмі (ПНС). Завдяки введенню в схему резонансного LC-контуру формуються квазісинусоїдальні коливання струму через ключ, внаслідок чого створюються умови для його комутації при нульовому струмі як при вмиканні, так і при вимкненні. За допомогою простої заміни в ШІМ-перетворювачах силового ключа (ключів) резонансним може бути отримане ціле сімейство квазірезонансних імпульсних перетворювачів (КРІП). Це нове сімейство схем можна розглядати як гібрид ШІМ- і резонансних перетворювачів.

У КРІП використовуються принципи накопичення енергії в індуктивності або ємності з подальшою передачею її в навантаження, аналогічні вживаним у ШІМ-перетворювачах, причому їх схеми також схожі. Проте біля силового ключа завжди є LC-коло, яке слугує не лише для формування напруги і струму, але і для накопичення і передачі енергії від входу до виходу аналогічно способам, що використовується у традиційних резонансних перетворювачах. Як для мережевих джерел живлення з безтрансформаторним входом, так і для перетворювачів постійної напруги в постійну, метод перемикання при нульовому струмі дуже ефективний аж до частот одиниць мегагерц, оскільки дозволяє усунути втрати при виключенні й імпульсні перевантаження.

Великий клас перетворювачів напруги представляють прилади, які використовують резонансні режими роботи імпульсних напівпровідникових ключів. Такі режими дозволяють формувати близьку до гармонічної форму струму и напруги в силових колах перетворювачів напруги, а це, у свою чергу, дозволяє знизити динамічні втрати в напівпровідникових компонентах і, відповідно, підвищити ККД [2–3].

Нині КРІП застосовується досить широко. Аналіз таких застосувань та перспективи розглянуті в [4]. Квазірезонансні перетворювачі в основному використовуються як вторинне джерело живлення постійної напруги. В літературі мало приділяється уваги застосуванню КРІП у джерелах струму, хоча така потреба існує. Особливо це актуально останнім часом, коли почали широко застосовуватися джерела світла на основі потужних світлодіодів білого кольору світіння. Для їх живлення потрібні джерела постійного струму. Також сучасна мобільна апаратура живиться в основному від літій-іонних (літій-полімерних) акумуляторів, для заряджання яких використовуються спеціальні джерела живлення на основі стабілізаторів струму. Якість джерел світла та зарядних пристроїв можна підвищити, застосувавши в них стабілізатор струму на основі КРІП.

Один з варіантів використання КРІП-ПНС для живлення світлодіодів запропонований у [5]. Застосування однонапівперіодного послідовного знижувального КРІП-ПНС дозволило досягти ККД більше 90 % та зменшити габарити джерела світла.

У нашій статі проведемо аналіз електромагнітних процесі у двонапівперіодному послідовному знижувальному КРІП-ПНС. Отримані формули дозволять розраховувати

подібні перетворювачі для зарядних пристроїв та потужних систем освітлення на світлодіодах.

Для підтвердження отриманих формул виконаємо моделювання на комп'ютері електромагнітних процесів у КРІП-ПНС з навантаженням у вигляді світлодіодів.

Математичний опис електромагнітних процесів у КРІП-ПНС з навантаженням у вигляді світлодіодів або акумулятора. У [6] виконано аналіз електромагнітних процесів у КРІП-ПНС з навантаженням у вигляді двигуна постійного струму. Аналогічно виконаємо розрахунок двонапівперіодного квазірезонансного перетворювача, що перемикається при нульовому струмі, з навантаженням у вигляді світлодіодів або акумуляторної батареї. Виконаємо такі заміщення параметрів, а саме $I_я=I_н$, $L_я=L_ф$, $e_я=e_д$, $R_я=R$. На рис. 1 показана схема для математичного опису процесів, які протікають у двонапівперіодному КРІП-ПНС, де e – це падіння напруги на світлодіодах або напруга акумуляторної батареї, а R – активний опір діода або акумуляторної батареї. До цього опору також входить опір давача струму для зворотного зв'язку системи керування стабілізатора струму. На рис. 2 показані часові діаграми роботи перетворювача.

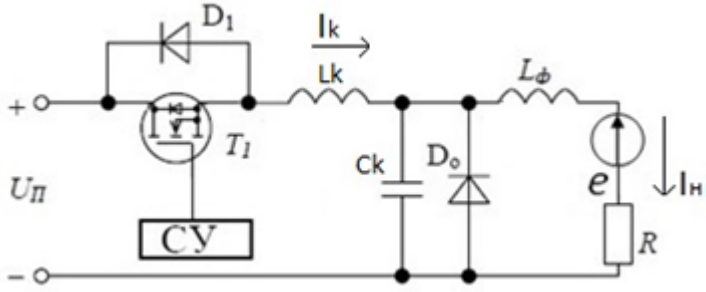


Рис. 1. Схема для математичного опису процесів, які протікають у КРІП-ПНС

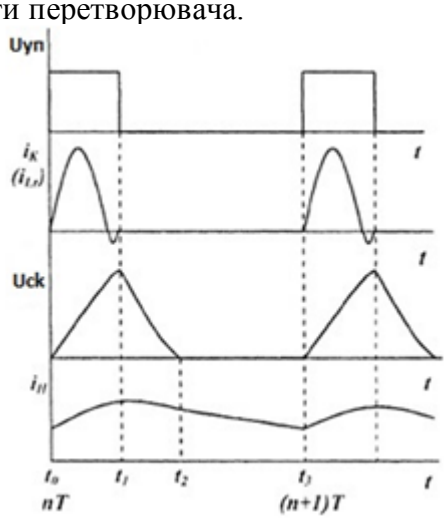


Рис. 2. Діаграми роботи КРІП-ПНС

Розглянемо порядок роботи КРІП-ПНС на навантаження у вигляді світлодіодів. Для цього виділимо три інтервали роботи. На першому комутаційному інтервалі $t_0 \le t \le t_1$ відбувається резонансний заряд конденсатора C_K. На другому комутаційному інтервалі $t_1 \le t \le t_2$ відбувається розряд конденсатора C_K через навантаження. На третьому інтервалі $t_2 \le t \le t_3$ відбувається розряд енергії, накопиченої в індуктивності фільтра.

Для всіх трьох інтервалів справедливі такі рівняння:

$$\left.\begin{aligned} & i_k(p) = i_н(p) + pCU_c(p) \\ & U_П\frac{1}{p} = L_k p i_k(p) + U_c(p) + U_c(t_0)\frac{1}{p} \\ & U_c(p) = pL_ф i_н(p) - L_н i_н(t_0) + i_н(p)R + \frac{e_д}{p} - U_c(t_0)\frac{1}{p} \end{aligned}\right\}, \; t_0 \le t \le t_1 \qquad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} & U_c(p) = U_c(t_1)\frac{1}{p} - i_н(p)\frac{1}{pC} \\ & U_c(p) = pL_ф i_н(p) - L_ф i_н(t_1) + i_н(p)R + \frac{e_д}{p} \end{aligned}\right\}, \; t_1 \le t \le t_2 \qquad (2)$$

$$0 = pL_ф i_н(p) - L_ф i_н(t_2) + i_н(p)R + \frac{e_д}{p},\ t_2 \le t \le t_3 \qquad (3)$$

де $i_н(t_0)$, $U_C(t_0)$, $U_C(t_1)$, $i_н(t_1)$, $i_н(t_2)$ – струми навантаження та напруги на конденсаторі контуру у відповідні моменти часу.

Перейшовши до відносного часу $\bar{t} = \frac{t}{T}$ і розв'язавши рівняння (1), (2), (3) для будь-якого періоду "*n*", отримуємо струм навантаження, струм контуру та напругу на конденсаторі контуру на відповідних комутаційних інтервалах:

$$i_н(\bar{t}) = -\frac{\omega_k^2(U_П - e_д)}{L_ф p_2(r^2+m^2)} + F_н' e^{\alpha_1(\bar{t}-n)} + \left(B_н' \sin\bar{\omega}_1(\bar{t}-n) + C_н' \cos\bar{\omega}_1(\bar{t}-n)\right)e^{\alpha_2(\bar{t}-n)} +$$
$$+ i_н(n)\left(F_н'' e^{\alpha_1(\bar{t}-n)} + \left(B_н'' \sin\bar{\omega}_1(\bar{t}-n) + C_н'' \cos\bar{\omega}_1(\bar{t}-n)\right)e^{\alpha_2(\bar{t}-n)}\right), \quad n \le \bar{t} \le n+\gamma_1; \qquad (4)$$

$$i_k(\bar{t}) = -\frac{\omega_k^2(U_П - e_д)}{p_2 L_ф(r^2+m^2)} + \left(F_k' + i_н(n)F_k''\right)e^{\alpha_1(\bar{t}-n)} + \left(\left(B_k' + i_н(n)B_k''\right)\sin\bar{\omega}_1(\bar{t}-n) -\right.$$
$$\left. - \left(C_k' + i_н(n)C_k''\right)\cos\bar{\omega}_1(\bar{t}-n)\right)e^{\alpha_2(\bar{t}-n)}, \quad n \le \bar{t} \le n+\gamma_1; \qquad (5)$$

$$u_c(\bar{t}) = -\frac{\omega_k^2(U_П - U_C(n))}{p_2 T_н(r^2+m^2)} + \left(F_c' + i_н(n)F_c''\right)e^{\alpha_1(\bar{t}-n)} + \left(\left(B_c' + i_н(n)B_c''\right)\sin\bar{\omega}_1(\bar{t}-n) +\right.$$
$$\left. + \left(C_c' + i_н(n)C_c''\right)\cos\bar{\omega}_1(\bar{t}-n)\right)e^{\alpha_2(\bar{t}-n)}, \quad n \le \bar{t} \le n+\gamma_1; \qquad (6)$$

$$i_н(\bar{t}) = \left(i_н(n+\gamma_1)\cos\bar{\omega}_2(\bar{t}-n-\gamma_1) + \right.$$
$$\left. + \frac{U_C(n+\gamma_1) - 0{,}5R\, i_н(n+\gamma_1) - e_д}{z_н}\sin\bar{\omega}_2(\bar{t}-n-\gamma_1)\right)e^{-0{,}5\alpha(t-n-\gamma_1)},$$
$$n+\gamma_1 \le \bar{t} \le n+\gamma_1+\gamma_2. \qquad (7)$$

$$u_c(\bar{t}) = e_д + \left(\left(U_c(n+\gamma_1) - e_д\right)\cos\bar{\omega}_2(\bar{t}-n-\gamma_1) + \right.$$
$$\left. + \frac{\left(U_c(n+\gamma_1) - e_д\right)R + 2\frac{L_ф}{C}i_н(n+\gamma_1)}{2z_н}\sin\bar{\omega}_2(\bar{t}-n-\gamma_1)\right)e^{-0{,}5\alpha(t-n-\gamma_1)},$$
$$n+\gamma_1 \le \bar{t} \le n+\gamma_1+\gamma_2. \qquad (8)$$

$$i_н(\bar{t}) = -\frac{e_д}{R} + \left(\frac{e_д}{R} + i_н(n+\gamma_1+\gamma_2)\right)e^{-\alpha(\bar{t}-n-\gamma_1-\gamma_2)}, \quad n+\gamma_1+\gamma_2 \le \bar{t} \le n+1, \qquad (9)$$

де $F_н' = \frac{\omega_k^2(U_П - e_д) + p_2^2(U_C(n) - e_д)}{L_ф p_2 z_1}$, $F_н'' = \frac{p_2^2+\omega_k^2}{z_1}$,

$$B_н' = \frac{(r^2 - m^2 - rp_2)\omega_k^2}{mL_ф z_1(r^2+m^2)}(U_П - e_д) + \frac{(r^2+m^2-rp_2)}{L_ф m z_1}(U_C(n) - e_д),$$

$$B_н'' = \frac{(r-p_2)\omega_k^2 + r(m^2+r^2) + p_2(m^2-r^2)}{mz_1},\ C_н' = \frac{(p_2-2r)\omega_k^2}{L_ф z_1(r^2+m^2)}(U_П - e_д) - \frac{p_2}{L_ф z_1}(U_C(n) - e_д),$$

$$C_{\phi}^{//}=\frac{r^2+m^2-\omega_k^2-2rp_2}{z_1},\quad F_k^{/}=\frac{\left(1+p_2T_н\right)}{z_1L_kT_н}\left(U_П-U_C(n)\right)+\frac{\omega_k^2}{p_2z_1L_{\phi}}\left(U_П-e_{\partial}\right),\quad F_k^{//}=C_k^{//}=\frac{\omega_k^2}{z_1},$$

$$B_к'=\frac{\left(r^2+m^2-rp_2\right)T_н+r-p_2}{L_kT_нmz_1}\left(U_П-U_C(n)\right)+\frac{\left(r^2-m^2-rp_2\right)\omega_k^2}{mz_1L_{\phi}\left(m^2+r^2\right)}\left(U_П-e_{\partial}\right),\qquad B_k^{//}=\frac{\left(r-p_2\right)\omega_k^2}{mz_1},$$

$$C_k^{/}=\frac{1+p_2T_н}{L_kT_нz_1}\left(U_П-U_C(n)\right)+\frac{\left(2r-p_2\right)\omega_k^2}{z_1L_{\phi}\left(m^2+r^2\right)}\left(U_П-e_{\partial}\right),\quad F_c^{/}=\frac{\left(1+p_2T_н\right)\omega_k^2}{p_2T_нz_1}\left(U_П-U_C(n)\right)+\frac{\omega_{kн}^2}{z_1}\left(e_{\partial}-U_C(n)\right),$$

$$F_c^{//}=-\frac{p_2}{Cz_1},\qquad B_c^{/}=\left(\frac{r^2-m^2-rp_2}{T_н\left(r^2+m^2\right)}+r-p_2\right)\frac{\omega_k^2}{mz_1}\left(U_П-U_C(n)\right)+\frac{r-p_2}{mz_1}\omega_{kн}^2\left(e_{\partial}-U_C(n)\right),$$

$$C_c^{//}=\frac{p_2}{z_1C},\ C_c^{/}=\frac{\left(p_2-2r-\left(r^2+m^2\right)T_н\right)\omega_k^2}{z_1T_н\left(r^2+m^2\right)}\left(U_П-U_C(n)\right)+\frac{\omega_{kн}^2}{z_1}\left(U_C(n)-e_{\partial}\right),\ B_c^{//}=\frac{rp_2-r^2-m^2}{mz_1C},$$

$$\omega_k=\frac{1}{\sqrt{L_kC}},\quad \omega_{kн}=\frac{1}{\sqrt{L_{\phi}C}},\quad T_н=\frac{L_{\phi}}{R},\quad p_2=-\left(-D+\frac{1}{3T_н}\right),\quad r=-\left(\frac{1}{2}D+\frac{1}{3T_н}\right),\quad m=\frac{\sqrt{3}}{2}D',$$

$$z_1=\left(p_2-r\right)^2+m^2=\left(r-p_2\right)^2+m^2,\ D=\frac{1}{6}A-\frac{2\left(\omega_{kн}^2+\omega_k^2-\frac{1}{3T_н^2}\right)}{A},$$

$$A=\sqrt[3]{\frac{1}{T_н}\left(36\left(\omega_{kн}^2-2\omega_k^2\right)-\frac{8}{T_н^2}+12\omega_k^2\sqrt{3\left(4T_н^2\omega_k^2\left(k+1\right)^3-k\left(k+20\right)+8+\frac{4}{T_н^2\omega_н^2}\right)}\right)},\qquad k=\frac{L_k}{L_{\phi}},$$

$$\alpha_1=Tp_2,\ \alpha_2=Tr,\ \overline{\omega}_1=\omega_1T,\ \omega_1=m,\ \gamma_1=\frac{\Delta t_1}{T},\ D'=\frac{1}{6}A+\frac{2\left(\omega_{kн}^2+\omega_k^2-\frac{1}{3T_н^2}\right)}{A},\ \Delta t_1=t_1-t_0,$$

$$\omega_2=\sqrt{\omega_{kн}^2-\frac{1}{4T_н^2}},\ z_н=L_н\omega_2=\sqrt{\frac{L_н}{C}-\frac{R^2}{4}},\ \alpha=\frac{T}{T_н},\ \overline{\omega}_2=\omega_2T,\ \gamma_2=\frac{\Delta t_2}{T},\ \Delta t_2=t_2-t_1,$$

$$u_c\left(n+\gamma_1\right)=-\frac{\omega_k^2\left(U_П-U_C(n)\right)}{p_2T_н\left(r^2+m^2\right)}+F_c^{/}e^{\alpha_1\gamma_1}+\left(B_c^{/}\sin\overline{\omega}_1\gamma_1+C_c^{/}\cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}+,$$

$$+\ i_н\left(n\right)\left(F_c^{//}e^{\alpha_1\gamma_1}+\left(B_c^{//}\sin\ \overline{\omega}_1\gamma_1+C_c^{//}\cos\ \overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}\right)$$

$$i_н\left(n+\gamma_1\right)=-\frac{\omega_k^2\left(U_П-e_{\partial}\right)}{L_{\phi}p_2\left(r^2+m^2\right)}+F_н^{/}e^{\alpha_1\gamma_1}+\left(B_н^{/}\sin\overline{\omega}_1\gamma_1+C_н^{/}\cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}+$$

$$+\ i_н\left(n\right)\left(F_н^{//}e^{\alpha_1\gamma_1}+\left(B_н^{//}\sin\overline{\omega}_1\gamma_1+C_н^{//}\cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}\right),$$

$$i_н\left(n+\gamma_1+\gamma_2\right)=\left(i_н\left(n+\gamma_1\right)\cos\overline{\omega}_2\gamma_2+\frac{U_C\left(n+\gamma_1\right)-0{,}5R\ i_н\left(n+\gamma_1\right)-e_{\partial}}{z_н}\sin\overline{\omega}_2\gamma_2\right)e^{-0{,}5\alpha\gamma_2},$$

T – період роботи ключа КРІП;

$i_н\left(n\right)$, $U_C\left(n\right)$ – струм навантаження та напруга на конденсаторі контуру на початку першого інтервалу роботи КРІП.

Підставивши в (9) значення $\bar{t}=n+1$ та вирішивши отримане різницеве рівняння, знайдемо струм на початку “n”-го періоду комутації:

$$i_н(n) = A(\gamma)\frac{1-B(\gamma)^n}{1-B(\gamma)}, \tag{10}$$

де $A(\gamma) = -\frac{e_д}{R} + \left[\frac{e_д}{R} + \left[\left(-\frac{\omega_k^2(U_П - e_д)}{L_ф p_2(r^2+m^2)} + F_н' e^{\alpha_1\gamma_1} + \left(B_н' \sin\overline{\omega}_1\gamma_1 + C_н' \cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}\right)\cos\overline{\omega}_2\gamma_2 + \right.\right.$

$$+\left[-\frac{\omega_k^2(U_П - U_C(n))}{(r^2+m^2)T_н p_2} + F_c' e^{\alpha_1\gamma_1} + \left(B_c' \sin\overline{\omega}_1\gamma_1 + C_c' \cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1} - 0{,}5R\left(-\frac{\omega_k^2(U_П - e_д)}{L_ф p_2(r^2+m^2)} + \right.\right.$$

$$\left.\left.\left(+F_н' e^{\alpha_1\gamma_1} + \left(B_н' \sin\overline{\omega}_1\gamma_1 + C_н' \cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}\right) - e_д\right]\frac{\sin\overline{\omega}_2\gamma_2}{z_н}\right]e^{-0{,}5\alpha\gamma_2}\Bigg]e^{-\alpha(1-\gamma_1-\gamma_2)},$$

$$B(\gamma) = \left(\left(F_н'' e^{\alpha_1\gamma_1} + \left(B_н'' \sin\overline{\omega}_1\gamma_1 + C_н'' \cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}\right)\cos\overline{\omega}_2\gamma_2 + \right.$$

$$+\left[F_c'' e^{\alpha_1\gamma_1} + \left(B_c'' \sin\overline{\omega}_1\gamma_1 + C_c'' \cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1} - \right.$$

$$\left.\left.-0{,}5R\left(F_н'' e^{\alpha_1\gamma_1} + \left(B_н'' \sin\overline{\omega}_1\gamma_1 + C_н'' \cos\overline{\omega}_1\gamma_1\right)e^{\alpha_2\gamma_1}\right)\right]\frac{\sin\overline{\omega}_2\gamma_2}{z_н}\right)e^{-\alpha(1-\gamma_1-0{,}5\gamma_2)}.$$

Усталене значення струму на початку періоду переключення знайдемо, підставивши у (10) $n \to \infty$:

$$i_н(n) = i_{ну}(t_0) = \frac{A(\gamma)}{1-B(\gamma)}.$$

На рис. 3 показані графіки електромагнітних процесів, що побудовані за формулами (4)–(10) для двонапівперіодного КРІП-ПНС при таких параметрах: *R=7,25 Ом, $L_ф$=500 мкГн, $L_к$=0,25 мкГн, $C_к$=0,039 мкФ, T=1,2 мкс, $U_п$=24 В, $e_д$=16,5 В, $U_c(n)$=0, $t_и$=0,625 мкс*, які зображені на рис. 3.

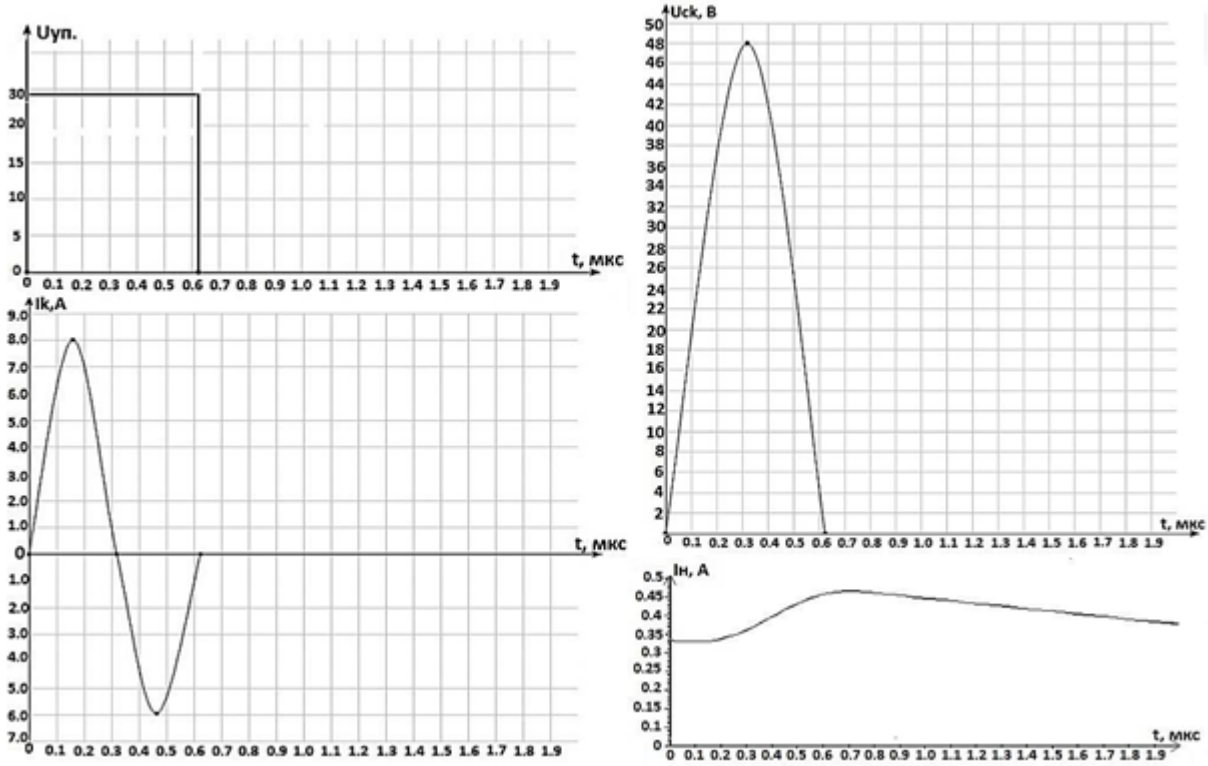


Рис. 3. Графіки електромагнітних процесів для двонапівперіодного КРІП-ПНС

Комп'ютерне моделювання електромагнітних процесів у КРІП-ПНС з навантаженням у вигляді світлодіодів. Для підтвердження теоретичних результатів проведемо моделювання КРІП-ПНС у програмі PSpice. Схема моделювання розімкненої системи представлена на рис. 4, роль системи керування виконує генератор прямокутних імпульсів V_{cy}. Тривалість імпульсу керування транзистором *VT1* розрахована з умови його виключення в області від'ємного струму контуру для двонапівперіодного перетворювача. Мережа живлення представлена джерелом постійної напруги V_c, резонансний контур – *L1*, *C1*. Навантаження представлено діодами *D1-D5*, резистор *R1* – давач струму, *L2-C2* – індуктивність та ємність фільтра відповідно.

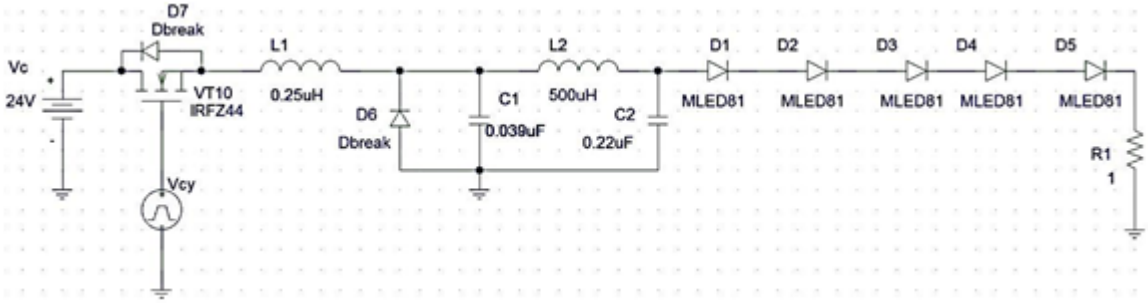


Рис. 4. Схема моделювання КРІП-ПНС

Моделі пасивних елементів ідеальні, тобто враховувалися тільки їх номінальні величини, а моделі напівпровідникових елементів близькі до реальних.

Результати моделювання розімкненої системи показані на рис. 5–12.

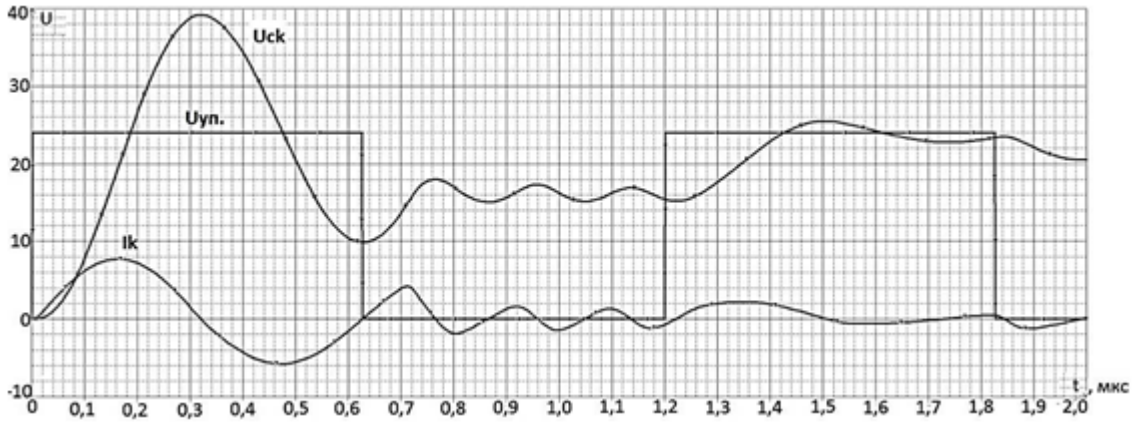


Рис. 5. Загальний перехідний процес у КРІП-ПНС

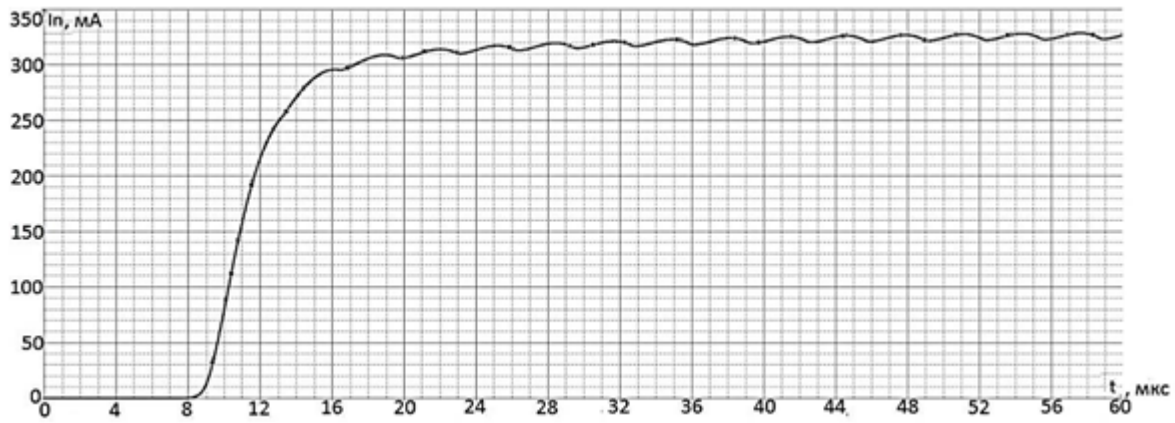


Рис. 6. Струм у навантаженні з наявністю конденсатора фільтра

Криві, що отримані під час моделювання, в цілому збігаються з кривими, побудованими за формулами (4)–(10), за винятком коливального процесу струму контуру і на-

пруги на конденсаторі контуру на другому та третьому інтервалах. Цей коливальний процес зумовлений паразитними ємностями та індуктивностями напівпровідникових приладів, які не були враховані в математичній моделі. Таким чином, моделювання підтверджує коректність отриманих виразів (4)–(9) з точністю до паразитних коливань. У випадках, коли паразитні коливання є критичними, необхідно користуватися комп'ютерним моделюванням або створювати більш складну математичну модель перетворювача із врахуванням паразитних параметрів усіх елементів. Але системи рівнянь, отримані за такою моделлю, зазвичай мають порядок більше четвертого й аналітично в загальному вигляді не вирішуються.

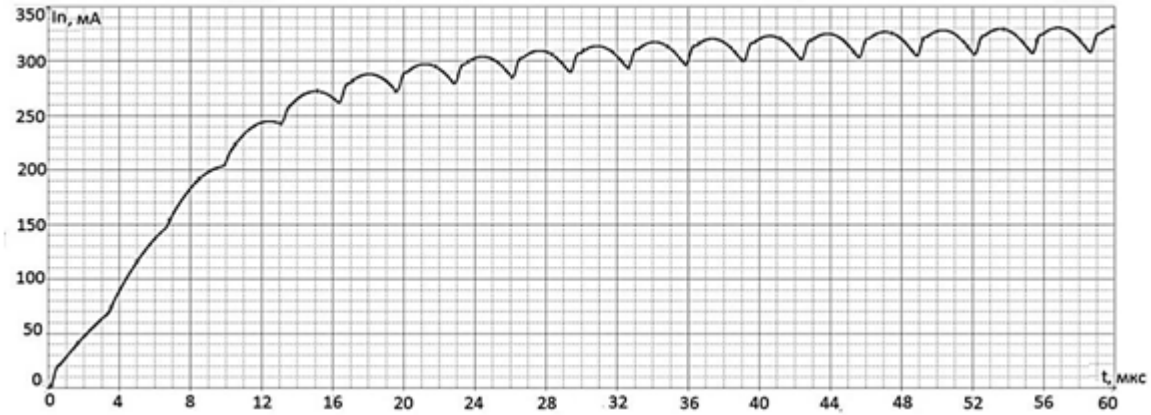


Рис. 7. Струм у навантаженні без фільтруючого конденсатора

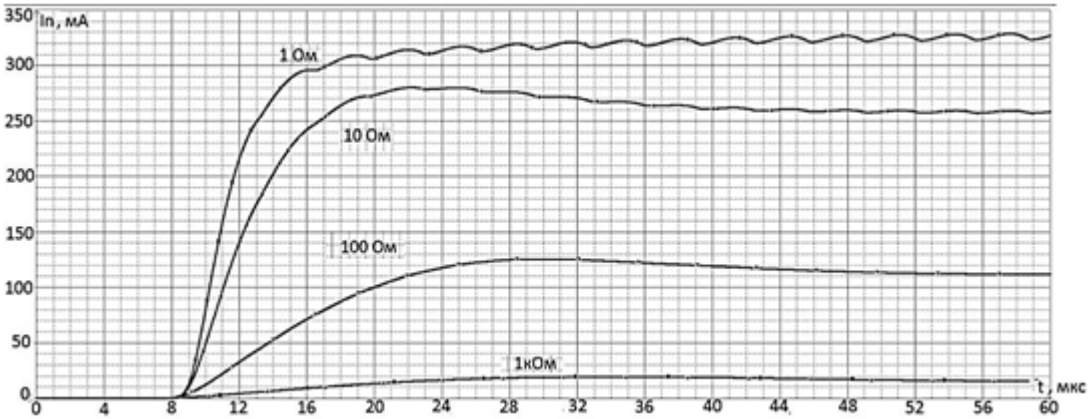


Рис. 8. Залежність струму навантаження від зміни опору навантаження

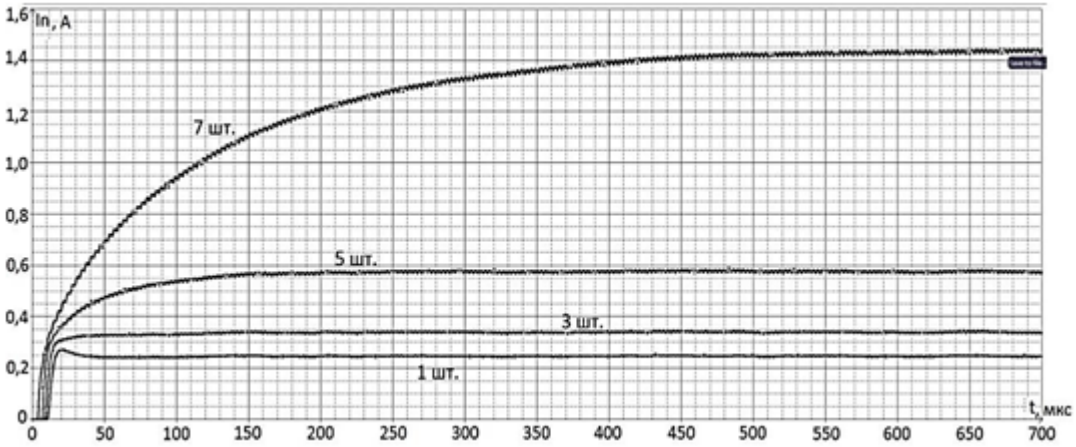


Рис. 9. Залежність струму навантаження від кількості світлодіодів

У процесі моделювання підтверджено, що істотний вплив має ємність фільтра. Вона істотно згладжує струм у навантаженні та робить його більш стабільним, ніж у випадку, коли її немає, що актуально для застосування КРІП як стабілізатора струму.

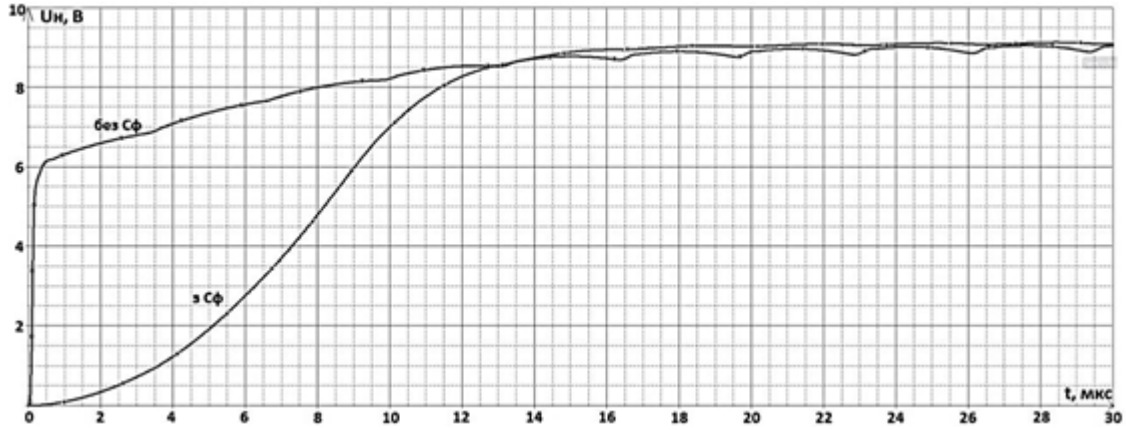


Рис. 10. Напруга на навантаженні з конденсатором фільтра та без нього

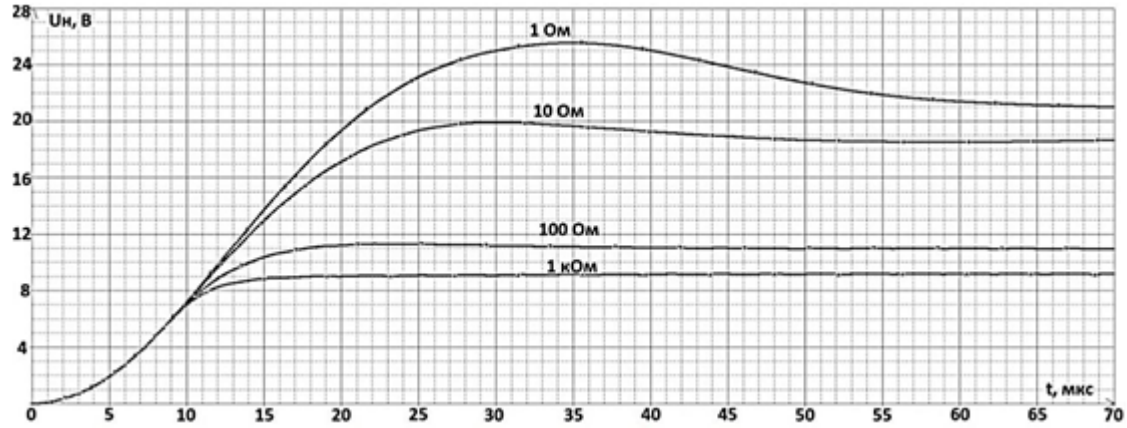


Рис. 11. Залежність напруги на навантаженні від зміни опору навантаження

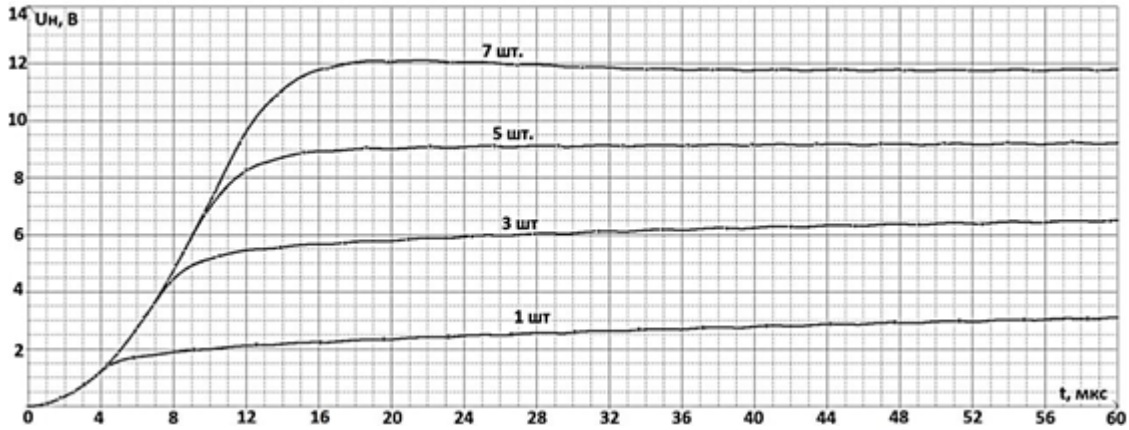


Рис. 12. Залежність напруги на навантаженні від кількості світлодіодів

Проаналізувавши отримані результати моделювання, можна зазначити, що зміна опору навантаження істотно впливає на процеси у квазірезонансному перетворювачі, що перемикається при нульовому струмі, а саме на величину та пульсації струму в навантаженні та його рівень. Також на це впливає і кількість світлодіодів, що включені послідовно. Причому зі збільшенням кількості світлодіодів зростає й струм через них, це пов'язано з тим, що зі збільшенням кількості послідовно ввімкнених світлодіодів пропорційно зростає й напруга на виході перетворювача.

Висновки. Використання КРІП-ПНС у джерелі струму, наприклад для живлення потужних освітлювальних світлодіодів чи для заряджання акумуляторів, дозволяє покращити параметри такого джерела, а саме значно зменшити втрати під час комутаційних процесів, тим самим підвищити ККД, а також дозволяє підвищити частоту роботи силового ключа до десятків мегагерц і зменшити динамічні втрати на ключі, що, у свою чергу, веде до покращення масогабаритних показників. Вирази електромагнітних процесів, що отримані у статті, можна використовувати для розрахунку стабілізаторів струму на основі КРІП-ПНС. Проведене моделювання електромагнітних процесів у КРІП-ПНС у режимі джерела струму загалом підтвердило коректність теоретичних розрахунків. Для високої стабільності вихідного струму КРІП-ПНС обов'язково необхідно використовувати замкнену систему стабілізації струму, оскільки в розімкненій системі вихідний струм суттєво залежить від опору навантаження та кількості підключених світлодіодів.

Список використаних джерел

1. *Ли Ф. К.* Высокочастотные квазирезонансные преобразователи / Ф. К. Ли // ТИИЭР. Тем. вып. "Энергетическая электроника" / под ред. В. А. Лабунцова. – 1988. – Т. 76, № 4. – С. 83–97.

2. *Городній О. М.* Порівняльна оцінка енергетичної ефективності імпульсних перетворювачів з квазірезонансними та звичайними ключами за результатами моделювання / О. М. Городній, В. В. Гордієнко, Б. І. Чуб // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – № 4 (61). – С. 222–231.

3. *Городний А. Н.* Анализ мощности рассеивания транзисторным ключом в последовательных импульсном и квазирезонансном преобразователях / А. Н. Городний // Техн. електродинамика. – 2012. – № 3. – С. 75–76.

4. *Горяшин Н. Н.* Использование квазирезонансного преобразователя напряжения для светодиодного источника света большой мощности / Н. Н. Горяшин, А. С. Сидоров. – Красноярск, 2013. – 6 с.

5. *Ревко А. С.* Проблема широтно-импульсного регулирования в квазирезонансных преобразователях / А. С. Ревко // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – 2006. – Ч. 8. – С. 50–53.

6. *Денисов Ю. А.* Анализ электромагнитных процессов в системе квазирезонансный импульсный преобразователь, переключаемый при нулевом токе – двигатель постоянного тока / Ю. А. Денисов, А. С. Ревко // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – 2000. – Ч. 4. – С. 29– 33.

УДК 621.311

Б.І. Кулик, асистент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ДІЮЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

Б.И. Кулик, ассистент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ИСКУССТВЕННОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Bohdan Kulyk, assistant
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

CONTROL ALGORITHM OF REACTIVE POWER COMPENSATION ARTIFICIAL MEANS IN EXISTING ELECTRIC SYSTEM

Розглянуто наявні підходи до регулювання потужності пристроїв компенсації реактивної потужності. Для сталого режиму роботи діючої електричної системи підприємства запропоновано алгоритм цільового управління навантаженням по реактивній потужності. Показано можливості алгоритму прогнозувати навантаження по реактивній потужності протягом технологічної зміни підприємства із врахуванням функціональних зв'язків між

параметрами режиму. Результати роботи рекомендується використовувати під час розроблення алгоритмів роботи мікропроцесорних пристроїв управління конденсаторними установками.

Ключові слова: *діюча електрична система, сталий режим роботи електричної мережі, компенсація реактивної потужності, прогнозування електричних навантажень, алгоритм управління.*

Рассмотрены существующие подходы к регулированию мощности устройств компенсации реактивной мощности. Для установившегося режима работы действующей электрической системы предприятия предложен алгоритм целевого управления нагрузкой по реактивной мощности. Показаны возможности алгоритма прогнозировать нагрузку по реактивной мощности в течение технологической смены предприятия с учетом функциональных связей между параметрами режима. Результаты работы рекомендуется использовать при разработке алгоритмов работы микропроцессорных устройств управления конденсаторными установками.

Ключевые слова: *действующая электрическая система, установившийся режим работы электрической сети, компенсация реактивной мощности, прогнозирование электрических нагрузок, алгоритм управления.*

The existing approches to power control of reactive power compensation devices are considered in this article. The algorithm of reactive-power load control for steady mode of existing enterprise electric system is offered. Possibilities of algorithm to forecast reactive-power loading during the enterprise technological shift taking into account functional links between the mode parameters are shown. The results are recommended to use in the development of microprocessor control algorithms of capacitor units.

Key words: *actual electric system, steady-state operation of the electrical grid, reactive power compensation, forecast of the electric load, control algorithm.*

Вступ. Передача реактивної енергії в діючих електричних системах (ДЕС) супроводжується додатковим нагрівом струмоведучих частин електроустановок мереж, а отже, і додатковими втратами активної енергії і напруги. Ефективним способом зниження втрат активної енергії і підвищення якості споживаної електроенергії в ДЕС є компенсація реактивної потужності [1].

Основними технічними засобами штучної компенсації реактивної потужності (ЗШКРП) у ДЕС є: синхронні двигуни, синхронні компенсатори, конденсаторні установки, статичні тиристорні конденсатори, компенсаційні перетворювачі [2].

Регулювання потужності ЗШКРП здійснюється за такими параметрами: час доби, напруга, струм навантаження, значення і напрям реактивної потужності [3]. Регулювання за часом доби є найбільш простим видом регулювання, яке доцільно застосовувати у тих випадках, коли режим реактивного навантаження і напруги у вузлах електричних мереж є достатньо стабільним. Регулювання потужності за напругою доцільно в тих випадках, коли режим напруги визначається в основному тільки режимом реактивних навантажень. Здебільшого це можливо тоді, коли ЗШКРП підключаються до мережі, яка живиться від нерегульованого трансформатора. Регулювання за струмом навантаження доцільно у тому випадку, коли за своїм характером графіки електричних навантажень по активній і реактивній потужностях збігаються. Регулювання по величині і напряму реактивної потужності слід застосовувати тоді, коли характери цих графіків один від одного відрізняються, а видачу реактивної потужності в мережу енергосистеми необхідно обмежити. Регулювання потужністю ЗШКРП здійснюється за допомогою мікропроцесорних регуляторів реактивної потужності, які працюють за заданими параметрами. Практика показує, що наявні алгоритми управління ЗШКРП не забезпечують повною мірою такі вимоги [4]: 1) мінімум втрат електроенергії в мережах споживачів у всіх режимах добового електроспоживання; 2) підтримання рівнів напруги в допустимих межах; 3) надійність роботи ЗШКРП.

Отже, нині розроблення алгоритму управління ЗШКРП у ДЕС, який буде відповідати вищезазначеним вимогам, є актуальним завданням.

Виклад основного матеріалу. На сьогодні методологічною основою розв'язання експлуатаційних задач управління ЗШКРП є система нелінійних алгебраїчних рівнянь, які відображають сталий режим роботи мережі з використанням законів Кірхгофа й Ома і принципів нелінійного математичного програмування. Відомо, що умова визначеності оцінювання сталого режиму будь-якої електричної мережі виконується тільки при заданості її базисного вузла (вузла, в якому напруга відома і постійна під час зміни навантажень мережі). Дослідження режимів роботи ДЕС показали велику динаміку зміни у часі параметрів режиму та нестаціонарність напруги U(t) навіть на межі балансового розділу розподі-

льних мереж споживачів і мереж енергопостачальної організації [5]. Також параметри нормального сталого режиму роботи ДЕС мають функціональні зв'язки, які через стохастичний характер зміни величин параметрів режиму неоднозначні. Під час управління навантаженням по реактивній потужності у часі Q(t), як випадковим процесом, необхідно враховувати ці зв'язки.

Нижче представлені результати натурного експерименту, проведеного в ДЕС підприємства "Чернігівське Хімволокно". Об'єктом дослідження в ньому є нормальний сталий режим роботи вводу розподільчої підстанції РП-2 підприємства (фідер 32), що живиться від Чернігівської ТЕЦ. До завдання експерименту входили прогнозування енергетичного стану мережі з формуванням алгоритму цільового управління реактивною потужністю. Вихідними параметрами сталого режиму роботи мережі послужили експериментально отримані півгодинні електричні навантаження по активній та реактивній потужностях та відповідні їм осереднені значення напруги станом на березень 2007 р. Розрахунковим шляхом були отримані втрати активної та реактивної потужностей у фідері 32. Для виявлення функціональних зв'язків між параметрами режиму було використано кореляційний та регресійний аналіз.

У табл. 1 наведені коефіцієнти кореляції ($К_г$) між півгодинними електричними навантаженнями по реактивній потужності першої технологічної зміни 1 березня 2007 р. з півгодинними електричними навантаженнями по реактивній потужності цієї ж зміни з другого по десяте березня. Знак коефіцієнтів кореляції вказує на пряму залежність між добовими навантаженнями, але величина не визначає сильної тісноти.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції між добовими електричними навантаженнями по реактивній потужності

Коефіцієнт кореляції навантажень 01.03.2007 з навантаженнями:								
02.03.07	03.03.07	04.03.07	05.03.07	06.03.07	07.03.07	08.03.07	09.03.07	10.03.07
0,71	0,70	0,70	0,43	0,75	0,77	0,62	0,68	0,66

У табл. 2 наведені коефіцієнти кореляції між півгодинними електричними навантаженнями по реактивній потужності за час з 6:00 до 6:30 першої технологічної зміни з півгодинними електричними навантаженнями по реактивній потужності першої технологічної зміни за 10 діб березня 2007 р.

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції між півгодинними електричними навантаженнями по реактивній потужності

Коефіцієнт кореляції півгодинного навантаження (6:00–6:30) з навантаженням за час:										
6:30–7:00	7:00–7:30	7:30–8:00	8:00–8:30	8:30–9:00	9:00–9:30	9:30–10:00	10:00–10:30	10:30–11:00	11:00–11:30	11:30–12:00
0,97	0,95	0,96	0,95	0,94	0,89	0,88	0,86	0,82	0,68	0,67

З табл. 1–2 видно, що коефіцієнти кореляції між півгодинними навантаженнями більші, ніж між добовими. Найтісніший зв'язок між корелюючими навантаженнями за час 6:00–6:30 припадає на навантаження за час 6:30–7:00, $К_г$ між якими становить 0,97. Статистичний зв'язок слабшає в міру збільшення часу між корелюючими півгодинними навантаженнями. Так, $К_г$ між навантаженнями за час 6:00–6:30 з навантаженнями за час 11:30–12:00 становить 0,67.

Провівши кореляційний аналіз між добовими півгодинними навантаженнями та між півгодинними навантаженнями за добу протягом березня як по активній, так і по реактивній потужностях, загальна тенденція зміни коефіцієнтів кореляції зберігалась. Це дало змогу зробити висновок про найтісніший статистичний зв'язок між сусідніми півгодинними електричними навантаженнями.

Для кожного навантаження на n півгодинному інтервалі осереднення навантажень на основі статистичного зв'язку з навантаженням на n-1 півгодинному інтервалі осереднення отримано математичну регресійну модель для короткотермінового прогнозу електричного навантаження. Для отриманих моделей зроблено оцінювання дисперсії параметрів, виконано перевірку адекватності моделі за критеріями Фішера і Стьюдента. Отже, для першої технологічної зміни математичні регресійні моделі прогнозованого електричного навантаження по реактивній потужності Q для кожного півгодинного інтервалу осереднення на основі попереднього півгодинного навантаження по реактивній потужності Q´ наведені в табл. 3.

За цими моделями були отримані прогнозовані півгодинні навантаження по реактивній потужності на наступну першу зміну. На рис. зображено реальний та прогнозований графіки електричних навантажень по реактивній потужності для першої технологічної зміни на 11.03.2007. Як Q´ взяті електричні навантаження за 10.03.2007.

Таблиця 3

Математичні регресійні моделі прогнозованого електричного навантаження

Реальні інтервали часу доби	**Математичні регресійні моделі**
6:00–6:30	Q = 201+Q´
6:30–7:00	Q = 89+0,94Q´
7:00–7:30	Q = 19+Q´
7:30–8:00	Q = 75+0,96Q´
8:00–8:30	Q = 35+0,98Q´
8:30–9:00	Q = -16+1,03Q´
9:00–9:30	Q = 2+0,97Q´
9:30–10:00	Q = 43+0,93Q´
10:00–10:30	Q = 50+0,94Q´
10:30–11:00	Q = 1+1,02Q´
11:00–11:30	Q = -15+Q´
11:30–12:00	Q = -78+1,02Q´
12:00–12:30	Q = -154+1,05Q´
12:30–13:00	Q = -41+0,99Q´
13:00–13:30	Q = 4+0,91Q´
13:30–14:00	Q = 95+0,95Q´

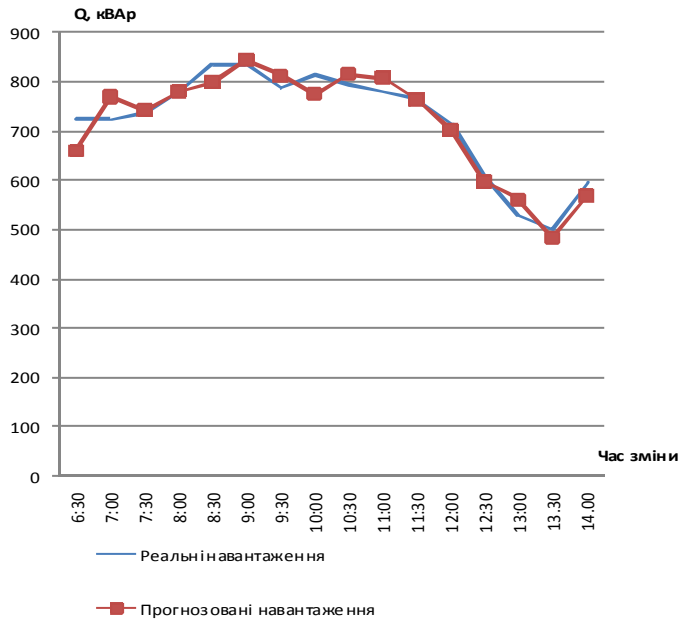


Рис. Графіки реальних та прогнозованих навантажень по реактивній потужності

З рис. видно, що отримані регресійні моделі дають достатньо точні результати прогнозування навантажень по реактивній потужності і дають можливість управляти ЗШКРП з упередженням. Точність оцінювалась, враховуючи мінімальну дискретність потужності конденсаторних установок, наявних у досліджуваній ДЕС.

У результаті статистичного оброблення основних та залежних параметрів нормального сталого режиму роботи досліджуваної ДЕС було отримано коефіцієнти кореляції між втратами активної потужності ΔP, втратами реактивної потужності ΔQ, напругою U з реактивними навантаженнями Q (Q→ΔP, Q→ΔQ, Q→U) на кожному півгодинному інтервалі часу доби. Також для кожного півгодинного інтервалу часу доби були складені функції регресії ΔP(Q), ΔQ(Q), U(Q). За отриманими коефіцієнтами кореляції та функціями регресії можна зробити висновки щодо ступеня впливу навантаження по реактивній потужності на втрати активної потужності й енергії та на напругу в заданому вузлі електричної мережі. Це дасть можливість визначити цілі управління ЗШКРП у цьому вузлі на кожному досліджуваному інтервалі часу.

Наприклад, для півгодинного інтервалу часу доби (7:30–8:00) були отримані коефіцієнти кореляції:

$K_r(Q\rightarrow\Delta P) = 0{,}89$; $K_r(Q\rightarrow\Delta Q) = 0{,}90$; $K_r(Q\rightarrow U) = 0{,}05$.

Для цього ж півгодинного інтервалу часу доби були складені такі функції регресії:

$$\begin{cases} \Delta P(Q) = 3{,}187 + 0{,}010Q; \\ \Delta Q(Q) = 1{,}497 + 0{,}0051Q; \\ U(Q) = 10{,}569 + 0{,}000026Q. \end{cases}$$

Значення коефіцієнта кореляції $K_r(Q\rightarrow U)$ за величиною показує відсутність статистичного зв'язку між корелюючими параметрами режиму ДЕС і незалежність зміни напруги досліджуваного вузла мережі від навантаження по реактивній потужності. Знак $K_r(Q\rightarrow U)$ показує незначне зростання напруги під час зростання навантаження по реактивній потужності. Тобто напруга у цьому вузлі не залежить від зміни Q цього фідера і тому, управляючи потужністю ЗШКРП, не вдасться вплинути на її рівень. Компенсація реактивної потужності дозволить зменшити втрати активної та реактивної потужності у фідері. Коефіцієнти регресії показують ступінь зменшення втрат активної та реактивної потужності від протікання реактивної потужності у цьому вузлі ДЕС.

Отже, для досліджуваного вузла ДЕС на інтервалі часу доби (7:30–8:00), управляючи потужністю ЗШКРП, можна досягти мети енергозбереження, мети забезпечення надійності елементів ДЕС, але при цьому немає можливості впливати на якість напруги.

Для забезпечення тільки надійності 3-жильного силового кабелю типу АСБ з перерізом жили 185 мм^2, яким виконаний фідер 32, осереднення навантажень провести на інтервалах часу тривалістю 1,5 години. Це приведе до зменшення кількості комутацій конденсаторної установки і, відповідно, до збільшення її надійності.

У результаті проведених досліджень можна запропонувати алгоритм цільового управління ЗШКРП у ДЕС. Кроки його такі.

1. Для заданого вузла електричної мережі за допомогою АСКОЕ зняти електричні навантаження по активній і реактивній потужностях та відповідні їм значення напруги. Кількість необхідних вимірів визначається мінімальним (для приведення похибки обчислень у допустимі межі) обсягом вибірки випадкових величин.

2. Осереднити їх на інтервалі часу, рівному мінімальному часу комутації батарей конденсаторів, встановлених у діючій мережі. Цей час визначається часом розряду конденсаторів і для установок вище 1000 В дорівнює п'ять хвилин [6]. Цей інтервал часу буде мінімальним інтервалом осереднення навантажень по реактивній потужності для забезпечення надійності конденсаторної установки.

3. Розрахувати втрати активної та реактивної енергії на кожному інтервалі осереднення в елементах ДЕС обумовлені знятими навантаженнями.

4. Задати допустимі межі, в яких може перебувати напруга в заданому вузлі електричної мережі (це може бути ± 5% $U_{ном}$, продиктоване вимогами ГОСТ 13109–97, або за необхідності це значення може задаватися вручну).

5. Знайти найтісніші статистичні зв'язки між осередненими навантаженнями по реактивній потужності, розрахувавши коефіцієнти кореляції $К_г$.

6. Скласти функції регресії Q(Q´) на кожному інтервалі осереднення навантаження по реактивній потужності.

7. Спрогнозувати на кожному інтервалі осереднення навантаження по реактивній потужності.

8. На кожному інтервалі осереднення розрахувати коефіцієнти кореляції Q→ΔP, Q→ΔQ, Q→U та скласти функції регресії ΔP(Q), ΔQ(Q), U(Q).

9. Визначити можливі цілі управління ЗШКРП та ступінь їх досягнення. За необхідності розширити інтервал осереднення.

10. Включити необхідну потужність ЗШКРП.

Висновки. У результаті проведених досліджень нормального сталого режиму роботи діючої електричної системи запропоновано алгоритм управління ЗШКРП, який враховує функціональні зв'язки між параметрами режиму та дозволяє реалізовувати цільову компенсацію реактивної потужності з упередженням. В основу алгоритму закладено кореляційний та регресійний аналіз параметрів режиму ДЕС.

Запропонований алгоритм може бути покладено в основу роботи мікропроцесорних коректорів коефіцієнта потужності, що дозволить підвищити ефективність компенсації реактивної потужності.

Список використаних джерел

1. *Железко Ю. С.* Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.

2. *Статические* источники реактивной мощности в электрических сетях / В. А. Веников, Л. А. Жуков, И. И. Карташов, Ю. П. Рыжов. – М. : Энергия, 1975. – 136 с.

3. *Ильяшов В. П.* Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок / В. П. Ильяшов. – М. : Энергия, 1966. – 62 с.

4. *Рогальський Б. С.* Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління / Б. С. Рогальський. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – Ч. 1. – 118 с.

5. *Скоробогатова В. І.* Підвищення функціональної ефективності управління потоками реактивної енергії в діючих електричних мережах / В. І. Скоробогатова, Б. І. Кулик // Вісник ЧДТУ. – 2007. – № 30. – С. 118–121.

6. *ГОСТ 12.2.007.5–75*. Конденсаторы силовые. Установки конденсаторные. Требования безопасности. – Введ. 1978–01–01. – (Межгосударственный стандарт).

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 613.2.032.53

Н.В. Притульська, д-р техн. наук
Д.П. Антюшко, канд. техн. наук
Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна
А.М. Кучинська, аспірант
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКТІВ ДЛЯ ЕНТЕРАЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ

Н.В. Притульская, д-р техн. наук
Д.П. Антюшко, канд. техн. наук
Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина
А.Н. Кучинская, аспирант
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ДЛЯ ЭНТЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Nataliia Prytulska, Doctor of Technical Sciences
Dmytro Antiushko, PhD in Technical Sciences
Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine
Anna Kuchynska, PhD student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

STUDYING OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS CHANGES OF PRODUCTS FOR ENTERAL NUTRITION

Досліджено фізико-хімічні показники якості сухих розчинних продуктів для ентерального харчування людей із соматичними захворюваннями та травмами «Реабілакт» і «Реабілакт-Д». На основі одержаних результатів встановлено тривалість рекомендованого терміну зберігання сухих розчинних продуктів.

Ключові слова: *продукти для ентерального харчування, фізико-хімічні показники якості, ентеральне харчування.*

Исследованы физико-химические показатели качества сухих растворимых продуктов для энтерального питания людей с соматическими заболеваниями и травмами «Реабилакт» и «Реабилакт-Д». На основании полученных результатов установлена продолжительность рекомендованного срока хранения сухих растворимых продуктов.

Ключевые слова: *продукты для энтерального питания, физико-химические показатели качества, энтеральное питание.*

The physico-chemical quality indexes of dry soluble products for enteral nutrition for the people with physical illnesses and injuries "Reabilakt" and "Reabilakt-D" are researched. Basing on achieved results the duration of the recommended shelf-life of dry soluble products was set.

Key words: *products for enteral nutrition, physico-chemical quality indexes, enteral nutrition.*

Постановка проблеми. Згідно з основними положеннями Концепції поліпшення продовольчого забезпечення та якості харчування населення, метою якої є забезпечення, зміцнення та збереження здоров'я населення, здійснення профілактики захворювань, пов'язаних з порушенням харчування, забезпечення нормальних умов лікування, поліпшення демографічної ситуації в Україні, держава відповідальна за створення соціально-економічних умов, за яких кожна людина може задовольнити свої потреби у повноцінному харчуванні [1]. Особливо важливого значення воно набуває протягом лікувального та відновлювального періодів. У зв'язку з цим для оптимального забезпечення харчових потреб широкого застосування набули продукти для спеціальних медичних цілей – ентеральне харчування.

Аналіз сучасного стану світового ринку продуктів для ентерального харчування дозволяє констатувати, що у 2012 р. його обсяг перевищив 4,5 млрд доларів США та має

темпи щорічного зростання в середньому на 10 %. Обсяг українського ринку таких продуктів становить менше 0,6 % світового, але асортимент його дуже обмежений, вітчизняні вироби відсутні, а вартість зарубіжних є високою [2; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковим підґрунтям для розроблення сучасних принципів харчування людей із соматичними захворюваннями та травмами вважаються фундаментальні положення про специфіку метаболічних потреб організму у цьому стані, розроблені Cuthbertson D. [4]. Особливої уваги заслуговує факт, що першочергового значення при забезпеченні харчового раціону набуває дотримання основоположних принципів теорій збалансованого й адекватного харчування, розроблених О.О. Покровським та О.М. Уголєвим [5; 6].

Значний внесок у розроблення та вдосконалення наукових принципів забезпечення нутритивних потреб людей із специфічними захворюваннями, основ створення продуктів для ентерального харчування зробили вітчизняні та закордонні вчені Е.Я. Фісталь, Г.П. Козинець, А.В. Бєляєв, І.Є. Хорошилов, О.М. Почепень, А.С. Боткіна, A.W. Wilkinson, H. Selye, D. Wilmore, I. Mayers, K. Barendgret, F.D. Moore, C. Ortega, G.R. Greenberg.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З огляду на встановлену актуальність розроблення такої продукції було розроблено вітчизняні продукти для спеціальних медичних цілей – сухе розчинне ентеральне харчування «Енергія відновлення», що при промисловому впровадженні отримав назву «Реабілакт» і «Реабілакт-Д» [7; 8]. Для встановлення тривалості рекомендованого терміну зберігання розроблених продуктів було проведено дослідження фізико-хімічних показників якості.

Мета статті – дослідження фізико-хімічних показників якості розроблених продуктів у сухому розчинному та готовому для споживання рідкому станах для встановлення тривалості рекомендованого терміну зберігання.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети розроблені продукти досліджувалися кожні 2 місяці впродовж періоду 16 місяців, оскільки максимальний термін зберігання компонентів становить 18 місяців, а логістична система постачання сировинних компонентів від їх безпосередніх виробників до виробничої бази налагоджена таким чином, що інгредієнти доставляються не більше ніж за 2 місяці після їх безпосереднього виготовлення.

Контролем визначено єдиний доступний у вільному продажу в Україні сухий розчинний продукт для ентерального харчування *Peptamen* виробництва компанії *Nestle* (Швейцарія) з аналогічними показаннями до застосування.

Дослідження продуктів проводилося після відповідно проведених згідно з ГОСТ 15113.0-77 відбору та підготовки проб у сухому розчинному стані за показником масова частка вологи (методом висушування до постійної маси із використанням сушильної шафи Ulab DHG-9070A згідно з ГОСТ 15113.4-77) та у готовому для вживання рідкому стані за показниками активна кислотність (потенціометричним методом із використанням pH-метра Ulab MP 511 згідно з ГОСТ 306485-99), індекс розчинності (методом центрифугування та визначення нерозчиненого осаду в пробі із використанням молочної центрифуги ЦЛМ-1-12 згідно з ГОСТ 30648.6-99), чистота відновлення (фільтруванням проби крізь фільтр діаметром 30 мм та порівняння фільтра з еталоном із використанням приладу для визначення чистоти відновлення ОЧМ-М згідно з ГОСТ 29245-91).

Важливим показником якості сухих розчинних продуктів для ентерального харчування, зважаючи на гігроскопічність, є масова частка вологи, що визначає їх сипучість і структурно-механічні властивості. Згідно з розробленими та затвердженими змінами до ТУ У 15.8-32453003-002:2007 «Продукти функціональні сухі спеціального призначення ТМ «Вансітон» цей показник має не перевищувати значення 8,0 %. Виявлену динаміку змін масової частки вологи у досліджених зразках відображено на рис. 1.

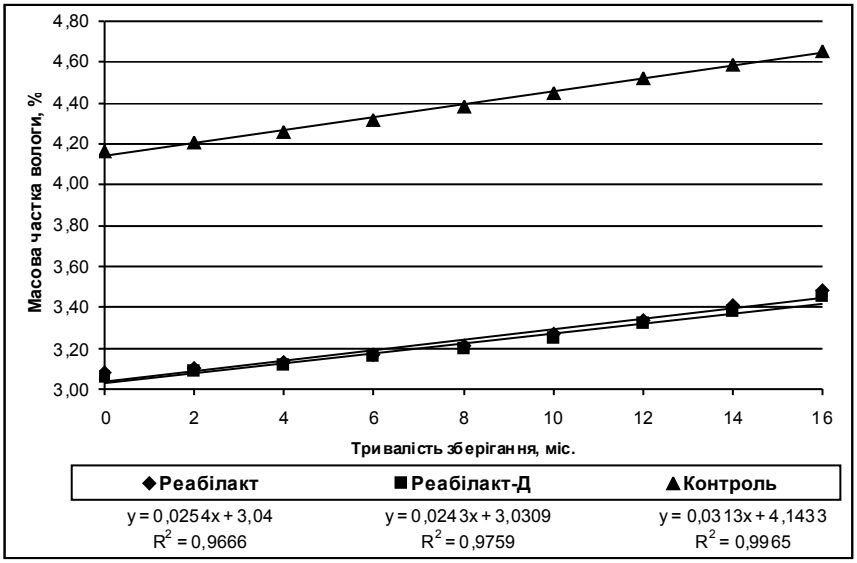


Рис. 1. Динаміка змін масової частки вологи у сухих розчинних продуктах для ентерального харчування у процесі зберігання, %

З наведених даних видно, що масова частка вологи у розроблених сухих продуктах для ентерального харчування протягом усього періоду досліджень відповідала нормативним вимогам. Повільніше підвищення дослідженого показника нових виробів при зберіганні у порівнянні з контрольною продукцією, на нашу думку, обумовлено більш герметичною формою упаковки: блістери із полімерної плівки та металізованої фольги, у той час як для контрольного виробу було використано жерстяні банки з пластиковою кришкою.

Експериментальні дані дослідження активної кислотності (рис. 2) свідчать, що протягом перших 12 місяців її значення для розроблених продуктів змінювалося несуттєво (знижуючись на 0,53 та 0,59 од. pH). Більш значне коливання цього показника спостерігалося у період зберігання із 12 по 16 місяць: «Реабілакт» характеризувався сталим зниженням на 0,27 од. pH, «Реабілакт-Д» – зниженням на 0,2 од. pH на 14-му місяці та підвищенням на 0,05 од. pH на 16-му місяці. Подібне зростання активної кислотності для виробу пояснюється амфотерними властивостями білкової складової продуктів. Значення досліджуваного показника для контрольного продукту протягом 16 місяців характеризувалося сталим зниженням (на 1,12 од. pH). Повільніші зміни активної кислотності розроблених продуктів порівняно з контролем пояснюються більш високим вмістом білка та мінеральних речовин.

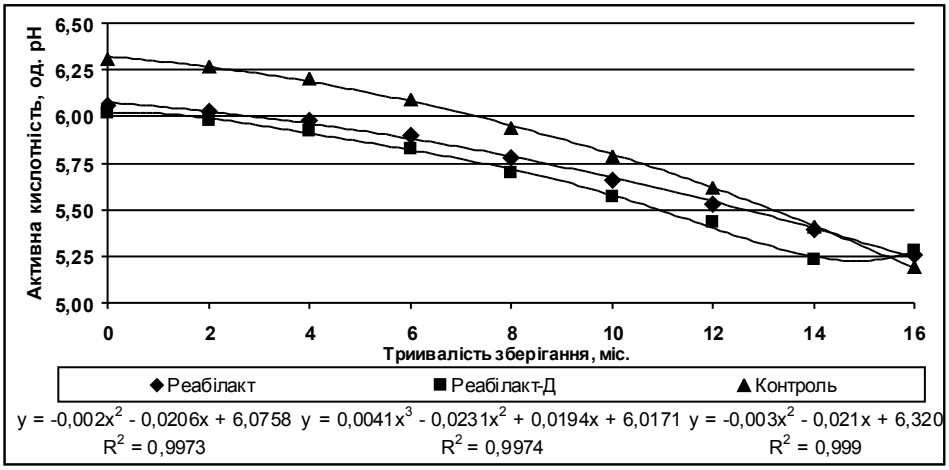


Рис. 2. Динаміка змін активної кислотності продуктів для ентерального харчування у процесі зберігання, од. pH

Зважаючи на суху розчинну форму досліджуваних виробів, у якій вони пропонуються для реалізації, важливим показником якості, що обумовлює рівень їх засвоюваності та зручності споживання, є індекс розчинності. З огляду на це було проведено його дослідження у процесі зберігання (рис. 3).

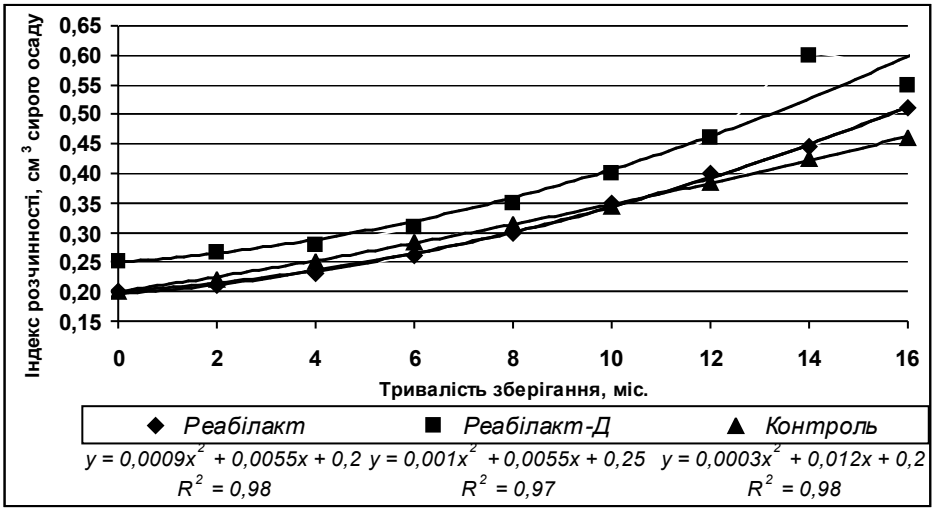


Рис. 3. Динаміка змін індексу розчинності продуктів для ентерального харчування у процесі зберігання, см3 сирого осаду

Одержані результати свідчать про поступове підвищення індексу розчинності всіх досліджуваних зразків, що свідчить про повільний перебіг процесів псування. Водночас необхідно констатувати, що для розроблених продуктів особливо різким було зростання досліджуваного показника після 12 місяців, що пояснюється, ймовірно, погіршенням розчинності білкової складової при зниженні активної кислотності (з 6,06 до 5,53 од. pH для зразка «Реабілакт» та з 6,02 до 5,43 од. pH для зразка «Ребілакт-Д»). Особливо високим було значення індексу розчинності для «Реабілакт-Д» на 14-му місяці зберігання (0,60 $см^3$ сирого осаду), що, беручи до уваги його наступне зниження та одночасний початок зростання активної кислотності після зниження, дає підстави стверджувати про досягненні у цей час ізоелектричної точки білкової складової.

Проведені дослідження динаміки змін чистоти відновлення, що доповнюють одержану інформацію про розчинність досліджуваних продуктів для ентерального харчування, свідчать про сталість цього показника впродовж усіх 16 місяців зберігання (I група).

Висновки. За результатами проведених досліджень фізико-хімічних показників, зважаючи на необхідність забезпечення високої якості розроблених продуктів упродовж рекомендованого терміну зберігання, зокрема низького індексу розчинності, було визначено, що оптимальна його тривалість має становити 12 місяців.

Перспективою подальших досліджень є споживчі властивості розроблених продуктів.

Список використаних джерел

1. *Про затвердження* Концепції поліпшення продовольчого забезпечення та якості харчування населення [Електронний ресурс] : Розпорядження Кабінету Міністрів України № 332-р від 26 травня 2004 р. – Режим доступу : http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/332-2004-%D1%80.

2. *Притульська Н. В.* Сучасний стан і тенденції розвитку ринку продуктів для нутрітивної підтримки людини / Н. В. Притульська, Д. П. Антюшко, Ю. М. Мотузка // Харчова наука і технології. – 2012. – № 4 (21). – С. 106–108.

3. *Притульська Н.* Ринок продуктів нутрітивної підтримки / Н. Притульська, А. Кучинська // Товари і ринки. – 2014. – № 1 (17). – С. 5–12.

4. *Wilkinson A. W.* Metabolism and the response to injury / A. W. Wilkinson, D. Cuthbertson. – Tunbridge Wells : Pitman Medical. – 1977. – Volume 64, Issue 8. – 608 p.

5. *Покровский А. А.* Беседы о питании / А. А. Покровский. – М. : Экономика, 1964. – 285 с.

6. *Уголев А. М.* Теория адекватного питания / А. М. Уголев // Клиническая медицина. – 1986. – № 4. – С. 15–24.

7. *Пат. 83048* України, МПК A61K 31/00. Суміш для ентерального харчування хворих при гіперметаболізмі «Енергія відновлення» / Н. В. Притульська, М. П. Гуліч, Ю. М. Мотузка, Д. П. Антюшко, Є. І. Маслєнін, заявник і патентовласник Київський національний торговельно-економічний університет. – № u 2013 02495 ; заявл. 27.02.2013 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. – 4 с.

8. *Пат. 83183* України, МПК A61K 31/00. Суміш для ентерального харчування «Реабілакт-Д» / Н. В. Притульська, С. А. Асланян, М. П. Гуліч, Ю. М. Мотузка, Д. П. Антюшко, Я. В. Купченко, Є. І. Маслєнін, заявник і патентовласник Київський національний торговельно-економічний університет. – № u 2013 03562 ; заявл. 22.03.2013 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16. – 4 с.

УДК 664.6

О.Л. Гуменюк, канд. хім. наук
М.П. Ксенюк, старш. викладач
І.М. Журок, студент
М.В. Дорожинська, студент
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ РЕЦЕПТУРИ ХЛІБА З ВИКОРИСТАННЯМ ЛЛЯНОГО ШРОТУ

О.Л. Гуменюк, канд. хим. наук
М.П. Ксенюк, ст. преподаватель
И.Н. Журок, студент
М.В. Дорожинская, студент
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ХЛЕБА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНОГО ШРОТА

Oksana Humeniuk, PhD in Chemical Sciences
Mariia Kseniuk, senior teacher
Iryna Zhurok, student
Maryna Dorozhynska, student
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF BREAD RECIPES USING FLAXSEED MEAL

Одним із нетрадиційних джерел корисних речовин є лляне борошно (шрот), яке можна використовувати у хлібопеченні для підвищення харчової цінності виробів. Лляний шрот містить багато поживних і корисних речовин: рослинний білок, вітаміни групи В, макро- і мікроелементи (калій, магній, цинк, манган, залізо, молібден, мідь, селен та ін.), харчові волокна, антиоксиданти (лігнани). Проведено дослідження щодо впливу добавки різних концентрацій лляного борошна на фізико-хімічні та органолептичні показники хліба. Вибране оптимальне дозування лляного шроту – 5 % від всієї маси борошна для дріжджового і бездріжджового пшеничного хліба. На основі проведених досліджень були розроблені рецептури і технологічні режими приготування пшеничного хліба з добавкою лляного шроту, які дають змогу одержати збагачений хліб відмінної якості.

***Ключові слова**: лляний шрот, біологічна та харчова цінність, органолептичні показники хліба, об'єм, пористість і кислотність хліба, опарний і безопарний спосіб приготування тіста, хлібопекарські дріжджі та закваски.*

Одним из нетрадиционных источников полезных веществ является льняная мука (шрот), которую можно использовать в хлебопечении для повышения пищевой ценности изделий. Льняной шрот содержит много питательных и полезных веществ: растительный белок, витамины группы В, макро- и микроэлементы (калий, магний, цинк, марганец, железо, молибден, медь, селен и др.), пищевые волокна, антиоксиданты (лигнаны). Проведены исследования по влиянию добавки разных концентраций льняной муки на физико-химические и органолептические показатели хлеба. Выбрана оптимальная дозировка льняного шрота – 5 % от всей массы муки для дрожжевого и бездрожжевого пшеничного хлеба. На основании проведенных исследований были разработаны рецептуры и технологические режимы приготовления пшеничного хлеба с добавкой льняного шрота, которые дают возможность получить обогащенный хлеб отменного качества.

***Ключевые слова**: льняной шрот, биологическая и пищевая ценность, органолептические показатели хлеба, объем, пористость и кислотность хлеба, опарный и безопарный способ приготовления теста, хлебопекарные дрожжи и закваски.*

One non-traditional source of nutrients is flaxseed meal (fat-free flaxseed meal) that can be used in baking to improve the nutritional value of products. Flaxseed meal contains a large amount of nutrients and minerals, vegetable protein, B vitamins, macro- and microelements (potassium, magnesium, zinc, manganese, iron, molybdenum, copper, selenium, etc.), dietary fiber, antioxidants (lignans). The influence of different concentrations of flaxseed meal on physical, chemical and organoleptic properties of bread was investigated. Based on the data obtained the optimal dosage of flaxseed meal for yeast and non-yeast wheat bread was chosen which has made 5% of the total weight of flour. Given the results of the present study the recipes and technological modes of cooking wheat bread with the addition of flaxseed meal were developed, which allow to obtain enriched bread of excellent quality.

***Key words**: flaxseed meal, biological and nutritional value, organoleptic parameters of bread, volume, porosity and acidity of bread, sponge and non-sponge dough, baking yeast and ferment.*

Постановка проблеми. У сучасних умовах за розвинутого виробництва високорафінованих харчових продуктів організм людини не отримує належної кількості багатьох необхідних та корисних речовин. До таких, передусім, належать харчові волокна, вітаміни групи В, макро- та мікроелементи, незамінні амінокислоти, антиоксиданти та ін. З цього погляду важливе значення має харчова цінність хліба та хлібобулочних виробів, які займають особливе місце у харчуванні людини, оскільки вживаються в їжу щоденно [1]. Таким чином, доцільним є за допомогою хлібобулочних виробів збагачувати щоденний раціон людини життєво необхідними компонентами, які сприяють зміцненню здоров'я і профілактиці різних захворювань.

Одним із нетрадиційних джерел корисних харчових речовин є насіння льону, яке можна застосовувати (у вигляді як знежиреного, так і не знежиреного борошна) у хлібопекарській промисловості для підвищення харчової цінності виробів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо [2–5], що в насінні льону містяться 3 групи сполук, що характеризуються специфічною біологічною дією і функціональними властивостями: поліненасичені жирні кислоти родини ω-3, розчинні харчові волокна у вигляді слизей і лігнани, що справляють фітоестрогенну дію.

Дані щодо хімічного складу насіння льону свідчать також про те, що вміст білка в насінні льону варіює в межах 20...30 %, а самі білки є лімітованими за лізином, але характеризуються високим коефіцієнтом перетравлюваності (89,6 %) і біологічною цінністю (77,4 %). Особливістю білків насіння льону є також високий вміст сульфурвмісних амінокислот – цистеїну і метіоніну, що мають антиоксидантні і геропротекторні властивості – захищають організм людини від руйнівної дії вільних радикалів [4]. Варто зазначити, що за амінокислотним складом білки насіння льону є більш повноцінними в порівнянні з білками пшеничного борошна і можуть доповнювати його, підвищуючи цінність хлібобулочних виробів.

Вміст харчових волокон досягає 28 % від маси цільного насіння за співвідношення розчинних і нерозчинних фракцій від 20:80 до 40:60. Головними фракціями серед харчових волокон насіння льону є целюлоза, слизи і лігнін [4]. Харчові волокна допомагають контролювати апетит і рівень глюкози у крові та зменшують кількість ліпідів крові. Таким чином, харчові волокна допомагають зменшити ризик серцевих хвороб, діабету, ожиріння і запальних процесів [4; 5].

Насіння льону є одним із найбагатших джерел лігнанів, що відносяться до класу фітоестрогенів – речовини рослинного походження, що проявляють естрогеноподібну активність в організмі людини. Так, відомо, що лігнани в товстому кишечнику в результаті мікробного метаболізму перетворюються в активні фітоестрогени – ентеролактон і ентеродіол, які нормалізують гормональний баланс і захищають репродуктивні органи від розвитку гормональнозалежних видів раку [4; 5].

Насіння льону відрізняється високим вмістом мінеральних речовин (мг/100 г): калію – 813 (у сім разів більше в порівнянні з бананами, в перерахунку на суху масу), фосфору – 642, магнію – 392, кальцію – 255; крім того, насіння льону є найкращим природним джерелом селену – 0,025 [3].

Насіння є багатим на вітаміни, мг/100: тіамін – 0,88, рибофлавін – 0,23, ніацин – 10,1, пантотенову кислоту – 5,4, холін – 490, жиророзчинний токоферол (вітамін Е) – 130 [3–5].

Проведений аналіз літературних джерел [6–8] щодо способів збагачення хлібобулочних виробів добавкою лляного борошна показав, що більшість спроб була зроблена з використанням розмеленого насіння льону, тобто не знежиреного лляного борошна, або ж з добавкою і лляного борошна, і лляної олії. У зв'язку з тим, що не знежирене лляне борошно, як і власне лляна олія, містить значну кількість поліненасичених жирних кислот, що швидко окиснюються, та враховуючи те, що лляна олія легко полімеризується, і висока температура є сприяючим фактором цього процесу, нами був вибраний лляний шрот – продукт помелу макухи насіння льону, одержаної після віджимання олії. На основі зробленого аналізу виявлено також, що для приготування збагачених лляним борошном хлібобулочних виробів використовувався єдиний спосіб – бездріжджовий.

Постановка завдання. Провести дослідження з розроблення нових рецептур хлібобулочних виробів з добавкою лляного шроту з використанням дріжджового та бездріжджового способів приготування хліба.

Виклад основного матеріалу дослідження. Першим етапом досліджень з розроблення рецептури хліба з добавкою лляного шроту було визначення оптимальної концентрації останнього. З цією метою була розроблена рецептура приготування хліба білого з пшеничного борошна вищого ґатунку з добавкою лляного шроту (табл. 1).

Було визначено вплив лляного шроту на якість і кількість клейковини пшеничного борошна вищого ґатунку, вологість і кислотність м'якушки, органолептичні показники готового продукту.

Таблиця 1

Пофазна рецептура приготування хліба білого з борошна пшеничного вищого ґатунку з добавкою лляного шроту

Показники	**Варіанти**			
Сировина, г	**контроль**	**1**	**2**	**3**
Борошно пшеничне вищого ґатунку	500,0	475,0	450,0	425,0
Лляний шрот	–	25,0	50,0	75,0
Дріжджі пресовані	15,0	15,0	15,0	15,0
Сіль	7,5	7,5	7,5	7,5
Вода	268,04	270,0	272,1	274,16
Маса тіста	790,54	792,58	794,59	796,63

Кількість і якість клейковини визначали за ГОСТ 27839-88. Одержані результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вплив лляного шроту на властивості клейковини

Варіант	**Вміст лляного шроту, % від загальної маси борошна**	**Масова частка сирої клейковини**	**Якість клейковини, умовні одиниці приладу ІДК-1**	**Розтяжність, см**
Контроль	0	25,0	70,7 (добра)	15,0 (середня)
1	5	24,3	76,7 (задовільно слабка)	13,0 (середня)
2	10	23,9	85,0 (задовільно слабка)	9,5 (коротка)
3	15	22,3	93,3 (задовільно слабка)	9,0 (коротка)

Таким чином, за наведеними в табл. 2 результатами, можна зробити висновок, що зі збільшенням вмісту шроту в суміші зменшується масова частка клейковини, знижуєть-

ся її якість, хоча і залишається в межах "задовільно слабкої", а зі збільшенням концентрації лляного шроту вище 5 % клейковина стає короткою.

Якість хліба з добавками лляного шроту оцінювали за допомогою проведення лабораторних пробних випічок тіста, що приготовлені із борошна (з добавками лляного шроту відповідно 0, 5, 10 і 15 %), солі, води і дріжджів безопарним способом (табл. 1).

Результати досліджень фізико-хімічних параметрів якості хліба наведені в табл. 3.

Таким чином, як свідчать дані табл. 3, збільшення концентрації лляного шроту приводить до збільшення вологості м'якушки, що може бути пов'язане з вологоутримуючими властивостями пентозанів лляного борошна, які характеризуються високими гідрофільними властивостями і здатні утворювати в'язкі гелі; кислотність м'якушки хліба зі збільшенням концентрації лляного шроту знижується. Добавка лляного борошна вплинула і на зміну органолептичних показників. Так, додавання лляного шроту в кількості 5 % призвело до незначного погіршення стану поверхні хліба і рівномірного світло-коричневого кольору.

Таблиця 3

Вплив лляного шроту на якість хліба

Показники якості	**Варіанти**			
	контроль	**1**	**2**	**3**
Вологість м'якушки, %	45,0	46,3	46,8	47,3
Кислотність м'якушки, град.	2,9	2,4	1,7	1,2
Стан поверхні хліба і забарвлення	Рівномірна, світла	Рівномірна, світла	Нерівномірна, темна	Нерівномірна, темна
Колір м'якушки	Світлий	Світло-коричневий	Коричневий	Темно-коричневий
Пористість	Дрібна рівномірна	Дрібна рівномірна	Дрібна нерівномірна	Дрібна нерівномірна
Смак і аромат	Запах характерний, смак приємний	Приємний запах, солодкуватий присмак	Приємний запах, солодкуватий присмак	Сильний запах і присмак лляного борошна

За подальшого збільшення вмісту лляного шроту до 10,0 % також спостерігалось подальше погіршення стану поверхні – вона набувала шорсткості, без розривів, у той час як м'якушка набувала нерівномірної пористості. Під час внесення лляного борошна в кількості 15 % стан поверхні хліба значно погіршувався, вона ставала нерівномірною, бугристою, а пористість м'якушки – нерівномірною (рис. 1, 2). Варто зазначити, що хліб з добавкою лляного шроту 5 і 10 % набував приємного запаху та присмаку лляного борошна, але за концентрації 15 % – відчувався різкий запах і присмак останнього. Серед недоліків виробів з добавкою лляного шроту варто відзначити і низьку кислотність, що погіршує смакові відчуття.

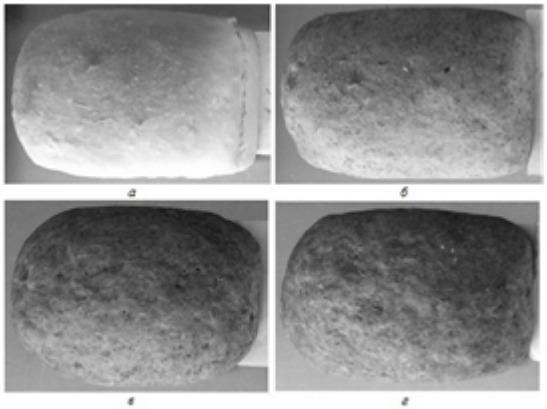


Рис. 1. Зовнішній вигляд готових виробів:
а – контрольний зразок; б, в, г – зразки з добавкою лляного шроту відповідно 5, 10 і 15 %

Рис. 2. Вигляд м'якушки готових виробів знизу вверх: контрольний зразок і зразки з добавкою лляного шроту відповідно 5, 10 і 15 %

Таким чином, на першому етапі досліджень встановлено, що оптимальною концентрацією лляного шроту, яка може бути використана для збагачення хлібобулочних виробів, є концентрація 5 %.

З метою покращення органолептичних показників хліба білого з добавкою лляного шроту, а саме підвищення кислотності, подальші дослідження були спрямовані на виявлення оптимального способу приготування тіста: на заквасці та з використанням одночасно дріжджів і закваски.

Відповідно, були розроблені рецептури приготування хліба білого з пшеничного борошна вищого ґатунку з добавкою лляного шроту для різних способів приготування тіста: на заквасці та з використанням одночасно дріжджів і закваски (табл. 4).

Якість хліба з добавками лляного шроту, приготовленого двома різними способами, оцінювали проведенням лабораторних пробних випічок тіста, що приготовлені із борошна (з добавками лляного шроту 5 %), солі, води та відповідно дріжджів і закваски – безопарним способом та з використанням закваски – опарним способом (табл. 4).

Таблиця 4

Пофазна рецептура приготування хліба білого з борошна пшеничного вищого ґатунку з добавкою лляного шроту для різних способів приготування тіста

Показники	**Варіанти***			
Сировина, г	**Контроль 1**	**1**	**Контроль 2**	**2**
Борошно пшеничне вищого ґатунку	500,0	475,0	500,0	475,0
Лляний шрот	–	25,0	–	25,0
Дріжджі пресовані	–	–	10,0	10,0
Закваска	100,0	100,0	50,0	50,0
Сіль	7,5	7,5	7,5	7,5
Вода	225,7	238,0	255,23	269,32
Маса тіста	833,2	345,36	822,73	861,82

Примітка: * – варіант 1 – тісто на заквасці; варіант 2 – тісто приготовлене з використанням і дріжджів і закваски.

Результати досліджень фізико-хімічних параметрів якості хліба наведені в табл. 5.

Варто зазначити, що спосіб приготування тіста суттєво впливає на органолептичні показники готових виробів. Так, хліб із пшеничного борошна, приготовлений на заквасці опарним способом (контрольний зразок 1, табл. 5), відрізнявся кислим смаком і запахом, у той же час добавка лляного шроту (варіант 1) дала змогу знизити відчутний кис-

лий смак до приємної "кислинки" і покращити запах готового виробу. Зразки контролю 2 і варіанта 2 характеризувались таким самим приємним запахом і смаком.

Таблиця 5

Вплив способів приготування тіста на якість хліба з добавкою лляного шроту

Показники якості	Варіанти*			
	Контроль 1	**1**	**Контроль 2**	**2**
Вологість м'якушки, %	45,9	47,1	46,0	47,2
Кислотність м'якушки, град.	3,5	3,3	3,2	3,0
Стан поверхні хліба і забарвлення	Рівномірна, світла	Рівномірна, світла	Рівномірна, світла	Рівномірна, світла
Колір м'якушки	Світлий	Світло-сірий	Світлий	Світло-сірий
Пористість м'якушки	Крупнопориста	Крупнопориста	Крупнопориста	Крупнопориста
Смак і аромат	Відчутний кисловатий смак і запах	Приємний запах і смак з відчутною "кислинкою"	Приємний запах і смак з відчутною "кислинкою"	Приємний запах і смак з відчутною "кислинкою"

Примітка: * – варіант 1 – тісто на заквасці; варіант 2 – тісто приготовлене з використанням і дріжджів і закваски.

Вироби на чистій заквасці та на заквасці з додаванням дріжджів відрізнялись еластичністю та пористістю м'якушки в порівнянні з виробами, приготовленими на дріжджах (рис. 3).

Рис. 3. Зовнішній вигляд та вигляд у розрізі хліба на заквасці: а – контрольний зразок; б – зразок з добавкою 5 % лляного шроту

Використання чистої закваски для приготування хліба білого з добавкою лляного шроту дало змогу одержати виріб з відмінними органолептичними показниками, але потребувало значно більше часу, ніж приготування такого ж хліба з використанням дріжджів і закваски. Тому для приготування хліба білого, збагаченого лляним борошном найкращим способом, є використання закваски і дріжджів.

У ході проведених досліджень було встановлено також, що добавка лляного шроту в рецептуру приготування хліба білого значно подовжує терміни зберігання готових виробів і зменшує черствіння.

Висновки та пропозиції. В результаті проведених досліджень було встановлено наступне:

– оптимальною концентрацією лляного шроту, яка може бути використана для збагачення хлібобулочних виробів, є концентрація 5 %;

– найкращим способом приготування хліба білого, збагаченого лляним борошном, є використання закваски і дріжджів;

– розроблена рецептура та технологія приготування хліба білого з добавкою лляного шроту, яка дає змогу одержати готові вироби відмінної якості.

У зв'язку з одержаними результатами були визначені перспективи використання лляного шроту для збагачення хлібобулочних виробів, а саме – для збагачення здобних хлібобулочних виробів.

Список використаних джерел

1. *Смоляр В. І.* Фізіологія та гігієна харчування / В. І. Смоляр. – К. : Здоров'я, 2000. – 336 с.

2. *Міцик В. Ю.* Раціональне харчування та харчові продукти / В. Ю. Міцик, А. Ф. Невольниченко. – К. : Урожай, 1993. – 336 с.

3. *US department* of agriculture. Agricultural research service. USDA national nutrient database for standard reference. Release 27. Full Report (All Nutrients) 12220, Seeds, flaxseed 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ndb.nal.usda.gov/ndb/search/list. Accessed 18 February 2015.

4. *Morris, D. H.* Flax: A health and nutrition primer. 4th ed. // Winnipeg Manitola: Flax Council of Canada, 2007. Downloaded from [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.flaxcouncil.ca/english/pdf/FlxPrmr_4ed_Chpt1.

5. *Cunnane SC,* Thompson LH. Flaxseed in human nutrition. – Champaign, IL: AOCS Press; 1995. – 458 p.

6. *Alpaslan, M.,* & Hayta, M. The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. Journal of Food Quality, *№ 29*. P. 617 – 627 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4557.2006.00099.x.

7. *Создание* технологии производства новых продуктов питания из семян льна / Л. И. Мачихина, Е. П. Мелешкина [и др.] // Хлебопродукты. – 2012. – № 6. – С. 54–58.

8. *Кривов Н. В.* Использование семян льна для обогащения хлебобулочных изделий / Н. В. Кривов, Л. П. Кривова // Современное хлебопекарное производство: перспективы развития : сб. науч. тр. 15-й Всерос. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 18 апреля 2014 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2014. – С. 6–10.

УДК 543.253

Е.Ю. Купчик, канд. хим. наук
Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, г. Чернигов, Украина
Н.П. Буяльская, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧАЕ МЕТОДОМ ИНВЕРСИОННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИИ

О.Ю. Купчик, канд. хім. наук
Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів, Україна
Н.П. Буяльська, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЧАЇ МЕТОДОМ ІНВЕРСІЙНОЇ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРІЇ

Elena Kupchik, PhD in Chemical Sciences
Chernigov T.G. Shevchenko National Pedagogical University, Chernigov, Ukraine
Nataliya Buyalska, PhD in Technical Sciences
Chernigov National University of Technology, Chernigov, Ukraine

DETERMINATION OF HEAVY METALS IN TEA BY STRIPPING VOLTAMMETRY

Исследованы потенциальные загрязнители, которые могут попадать в организм человека при чаепитии. Содержание таких тяжелых металлов, как цинк, кадмий, свинец и медь определено в чае методом инверсионной вольтамперометрии. Проанализировано содержание этих элементов в зеленом и черном чае, а также чае каркаде, которые можно купить в любом супермаркете города. Пробоподготовка образцов была выполнена окислительной

минерализацией образца чая в нитратной кислоте. Для объективной оценки качества чая использовали отдельное определение по каждому из тяжелых металлов. Установлено, что во всех образцах чая содержатся все вышеперечисленные тяжелые металлы. На основании анализа экспериментальных данных выявлено, что все исследуемые образцы чая являются безопасными для потребителя.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, цинк, кадмий, свинец, медь, чай, инверсионная вольтамперометрия.*

Досліджено потенційні забруднювачі, які можуть потрапляти до організму людини під час чаювання. Вміст таких важких металів, як цинк, кадмій, свинець та мідь визначено в чаї методом інверсійної вольтамперометрії. Проаналізовано вміст цих елементів у зеленому, чорному чаї, а також у чаї каркаде, які можна купити в будь-якому супермаркеті міста. Пробопідготовка зразків була виконана окислювальною мінералізацією зразків чаю в нітратній кислоті. Для об'єктивного оцінювання якості чаю використовували окреме визначення за кожним важким металом. Встановлено, що у всіх зразках чаю містяться всі вищевказані важкі метали. На основі аналізу експериментальних даних виявлено, що всі досліджувані зразки чаю є безпечними для споживача.

Ключові слова*: важкі метали, цинк, кадмій, свинець, мідь, чай, інверсійна вольтамперометрія.*

The potential contaminants that can ingest the human organism during tea party were researched in this article. The content of heavy metals such as zinc, cadmium, lead and copper was determined by stripping voltammetry. A content of these elements in green and black tea and tea Hibiscus, which can be bought in any supermarket was analyzed. Sample preparation was carried out by oxidative mineralization of the sample of tea in nitrate acid. Separated definition for each of the heavy metals was used for an objective assessment of the quality of tea. It was established that all samples of tea contained all heavy metals. Analysis of experimental data revealed that all of the samples of tea are safe for the consumer.

Key words*: heavy metals, zinc, cadmium, lead, copper, tea, stripping voltammetry.*

Постановка проблемы. Чай является самым распространенным напитком после воды [1]. Чай издавна применялся в качестве профилактического и лечебного средства при целом ряде заболеваний. Танины, флавоноиды и фенолкарбоновые кислоты, содержащиеся в листьях чая, проявляют выраженную антиоксидантную активность, эффективно обезвреживая свободные радикалы в тканях человека [2].

Чайный материал представляет собой природный многокомпонентный продукт, в состав которого входят дубильные (15,9–19 %), азотистые и минеральные вещества, кофеин (2,0–3,5 %), эфирные масла (0,006–0,021 %), углеводы, витамины, ферменты, органические кислоты и др. [3]. В чайных листьях обнаружены многие микроэлементы. В небольших количествах они необходимы для организма человека, но избыток их может оказаться токсичным. Кроме того, присутствие, например, больших количеств меди в напитках ухудшает их вкус [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Для определения содержания тяжелых металлов в чае используют атомно-абсорбционную спектроскопию (ААС) [4–6], атомно-эмиссионную спектроскопию с индуктивно связанной плазмой (АЭС ИСП) [7], высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) или капиллярный электрофорез (КЭ) [1; 5]. Каждый из указанных методов имеет свои недостатки. Так, метод ААС не позволяет проводить одновременное определение нескольких элементов, АЭС характеризуется достаточно высокой стоимостью оборудования и единичного анализа, ВЭЖХ требует проведения экстракции токсичными органическими растворителями, а КЭ имеет ограниченное число примеров практического применения для определения ионов тяжелых металлов в чае [1].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Для анализа товаров народного потребления метод инверсионной вольтамперометрии, позволяющий определять цинк, медь, кадмий и свинец в одной пробе при их совместном присутствии, представляется более перспективным, с учетом его высокой чувствительности, экспрессности, хорошей воспроизводимости результатов и невысокой стоимостью оборудования. Суть метода заключается в том, что определяемый компонент предварительно накапливается на поверхности индикаторного электрода. Затем полученный концентрат электрохимически растворяется. При этом регистрируется зависимость «величина тока электрорастворения — потенциал», называемая вольтамперограммой, позволяющая определять накопленные компоненты [8].

Цель статьи. Цель данной работы – применение одного из наиболее чувствительных к ионам тяжелых металлов электрохимического метода инверсионной вольтампе-

рометрии для изучения содержания микроэлементов в чае различных сортов и марок в торговой сети города Чернигова.

Изложение основного материала. Объектами исследования были выбраны марки чая, пользующиеся широкой популярностью у местного населения:

– № 1. Чай "Беседа" (черный, производитель ООО Беседа, Россия);

– № 2. Чай "TESS" (зеленый, производитель ООВ "Орими Трэйд ЛТД", Украина);

– № 3. Чай "Каркаде" (производитель ТОВ "НЕП" под контролем ТОВ "Орими Трэйд ЛТД", Днепропетровск);

– № 4. Чай "Ахмад" (черный байховый с ароматом бергамота, производитель СУБ ООО "Украинская чайная фабрика "Ахмад Ти");

– № 5. Чай "Принцесса Нури" (черный крупнолистовой, производитель ООО "Орими Трэйд ЛТД", Украина).

Образцы чая подвергались пробоподготовке путем «мокрого» озоления с добавками с целью разложения органической составляющей матрицы и перевода определяемых элементов в раствор в электрохимически активных формах. Для этого использовали программированную печь ПДП – Lab. Навеску чая массой 1 г смешивали с 10 $см^3$ концентрированной азотной кислоты в кварцевом стакане, затем нагревали до температуры 50–60 ^oC до прекращения газовыделения. Добавляли 1,5–2,0 мл 30 %-ного раствора перекиси водорода и выпаривали досуха в течение 60–70 мин при температуре 150–350 ^oC. Пробу озоляли при температуре 450 ^{o} С в течение 30 мин. Операцию добавления азотной кислоты, пероксида водорода, выпаривания и озоления повторяли два-три раза до получения однородной золы белого, желтого или серого цвета. Золу растворяли в 1 $см^3$ муравьиной кислоты и разбавляли бидистиллятом до 10 $см^3$. В кварцевую электрохимическую ячейку добавляли 10 $см^3$ дистиллированной воды, 0,2 $см^3$ муравьиной кислоты и аликвоту пробы объемом 0,5 $см^3$ [9].

Содержание тяжелых металлов определяли на анализаторе вольтамперометрическом ТА-Lab (НПП «Томьаналит», РФ) в трехэлектродной электрохимической ячейке. В качестве индикаторного электрода использовали амальгамный электрод. В качестве электрода сравнения и вспомогательного электрода использовали хлорсеребряный электрод, заполненный раствором 1 М хлорида калия.

Анализ проводили на фоновом электролите, содержащем 200 мкл конц. муравьиной кислоты (х.ч.), при следующих условиях: электрохимическая очистка индикаторного электрода при потенциале +0,050 В в течение 30–60 с, накопление металлов на поверхности индикаторного электрода при потенциале -1,500 В в течение 3–10–30 с, успокоение раствора при потенциале -1,300 В в течение 5 с, анодное окисление металла при линейной развертке потенциала со скоростью 80 мВ/с. Относительная погрешность такого анализа не превышает 7 %.

Пробу каждого образца краски анализировали в трех параллельных опытах. Определение металлов проводили методом добавок с использованием стандартных растворов, содержащих по 1 мг/л или 10 мг/л каждого из определяемых металлов, которые были приготовлены на основе государственных стандартных образцов (ГСО) и бидистиллята. Расчет концентрации металлов выполняли с помощью специализированной компьютерной программы ТА-Lab (версия 3.6.10).

Результаты обрабатывали методом математической статистики по известной методике [10]; рассчитывали среднее значение и интервальное значение с доверительной вероятностью 95 %.

В качестве примера на рис. 1 представлен типичный пример вольтамперных кривых фона (1), пробы чая без добавления (2) и с добавкой (3) анализируемого металла, полученные для образца чая № 4.

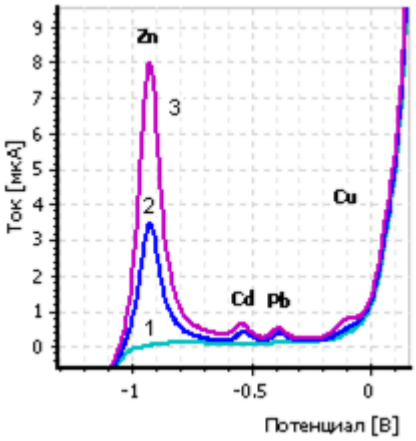
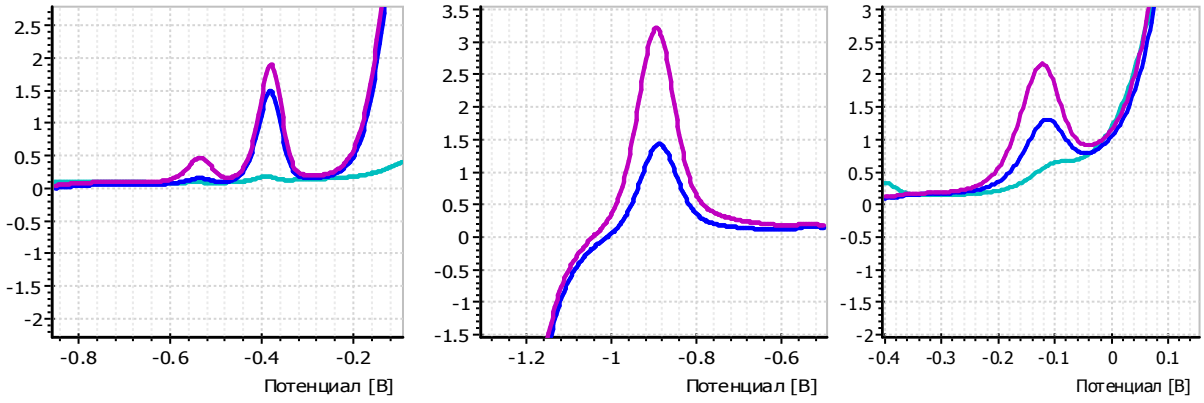


Рис. 1. Типичные вольтамперограммы на примере чая № 4: 1– фона, 2– пробы, 3– пробы с добавкой

Из рис. 1 видно, что на вольтамперной кривой раствора фона в интервале потенциалов от -1200 до +100 мВ отсутствуют пики тока окисления (кривая 1). Это свидетельствует о чистоте фонового электролита, а именно об отсутствии в нем цинка, кадмия, свинца и меди, поскольку в условиях регистрации вольтамперной кривой возможно анодное растворение ранее сконцентрированных на индикаторном электроде только этих металлов. На вольтамперной кривой пробы чая № 4 (кривая 2) имеются четыре максимума тока – при потенциалах -900, -550, -320 и -50 мВ, которые свидетельствуют о процессах анодного окисления цинка, кадмия, свинца и меди соответственно. При введении добавки стандартных растворов цинка, кадмия, свинца и меди максимумы тока окисления возрастают пропорционально увеличению концентрации этих металлов (кривая 3).

Для объективной оценки качества чая № 1–5 использовали отдельное определение по каждому из тяжелых металлов: Cd и Pb, Zn, Cu (рис. 2, *а, б, в*)



а *б* *в*

Рис. 2. Вольтамперограммы пробы чая № 1(масштаб 10/1). Определение: а) – Cd и Pb, б) – Zn, в) – Cu

Аналогичные вольтамперные кривые зарегистрированы для других изучаемых образцов чая.

По разности вольтамперных кривых пробы с добавкой, пробы и фонового электролита рассчитано содержание тяжелых металлов в чае. Результаты определения содержания цинка, кадмия, свинца и меди приведены в таблице.

В организме человека ионы меди (II) участвуют в окислительно-восстановительных процессах, и нехватка их затрудняет лечение и профилактику воспалений. Избыток же меди приводит к поражению желудочно-кишечного тракта, анемии, гепатиту и другим заболеваниям [12]. Содержание меди в исследуемых образцах чая колеблется от 5,4 до

24 мг/кг (табл.). Лидирует по содержанию меди марка чая "Беседа". Чай "Каркаде" отличается самым низким содержанием меди в ряду исследуемых образцов.

Таблица

Содержание Zn, Cd, Pb и Cu в чае, мг/кг

Проба	Zn	Cd	Pb	Cu
№ 1	12,00±0,30	0,14±0,04	7,20±0,04	24,00±0,08
№ 2	13,00±0,40	0,044±0,009	8,20±0,20	12,00±0,05
№ 3	14,00±0,06	0,14±0,03	1,90±0,03	5,40±0,01
№ 4	5,50±0,01	0,07±0,02	0,70±0,08	11,00±0,04
№ 5	3,00±0,02	0,060±0,011	1,300±0,025	16,20±0,05
ПДК [11]	-	1,0	10,0	100,0

В организме человека цинк принимает участие в реакциях общего обмена, в остеогенезе сахаро-инсулинового обмена, синтезе белков и нуклеиновых кислот, необходим для нормального функционирования половой системы. Для высоких концентраций цинка установлено генотоксическое действие [12]. Максимальное содержание цинка отмечается в чае "TESS", минимальное – в чае "Принцесса Нури".

Свинец и кадмий считаются основными токсикантами среди анализируемых нами тяжелых металлов, так как они отличаются высокой токсичностью и темпами накопления в окружающей среде. В гигиене питания человека кадмий считается одним из самых опасных токсикантов внешней среды. Период полувыведения кадмия составляет более 10 лет, поэтому возможно хроническое отравление этим элементом. Симптомы отравления – поражение почек и нервной системы с последующим возникновением острых костных болей, иногда нарушением функции легких [2; 12]. Наиболее высоким содержанием кадмия отличаются марки "Беседа" и "Каркаде". Минимальное содержание кадмия (0,044 мг/кг) установлено в образце чая "TESS".

В организме человека свинец нарушает синтез гемоглабина, нуклеиновых кислот, протеидов и гормонов. Свинец поражает кроветворную, нервную и почечную системы. При накоплении в организме свинца развивается малокровие, общая слабость, туберкулез, происходит перерождение тканей печени и почек [12]. Наибольшее содержание свинца отмечено в марке чая "TESS". Самое низкое содержание свинца (0,7 мг/кг) характерно для марки "Ахмад".

В таблице представлены результаты расчета интервальных значений содержания цинка, кадмия, свинца и меди для всех исследуемых проб лежат в диапазонах, мг/кг: от 0,01 до 0,4; от 0,009 до 0,04; от 0,025 до 0,20; от 0,01 до 0,08, соответственно.

Выводы и предложения. 1. Метод инверсионной вольтамперометрии может быть успешно применен для определения цинка, кадмия, свинца и меди в чае.

2. Чай – потенциально богатый источниками небольших количеств металлов диетический напиток. Приведенные данные свидетельствуют о том, что уровни содержания тяжелых металлов в товарных образцах чая различаются порой на порядковую величину и не зависят от сорта и марки чая.

3. Все протестированные чаи признаны безопасными для потребителей, так как содержание всех тяжелых металлов не превышает установленных норм.

Список использованных источников

1. *Неудачина Л. К.* Применение капиллярного зонного электрофореза для определения содержания меди в чае / Л. К. Неудачина, Е. Л. Лебедева, А. О. Кузнецов // Химия растительного сырья. – 2011. – № 4. – С. 161–167.

2. *Немерешина О. Н.* Содержание водорастворимых антиоксидантов и микроэлементов в образцах чая / О. Н. Немерешина, Н. Ф. Гусев, А. В. Филиппова // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 11. – С. 54–64.

3. *Матвейко Н. П.* Инверсионно-вольтамперометрическое определение тяжелых металлов в чайном материале / Н. П. Матвейко, А. И. Кулак // Весці нацыянальнай акадэми навук Беларусі. – 2011. – № 3. – С. 59–63.

4. *Qin F.* Lead and copper levels in tea samples marketed in Beijing, China / F. Qin, W. Chen // Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. – 2007. – Vol. 79, № 3. – P. 247–250.

5. *Weber G.* Untersuchungen zu den Bindungsformen von Eisen, Kupfer und Zink in verschiedenen Teesorten / G. Weber, G. Schwedt // Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und Forschung. – 1984. – № 2. – P. 110–114.

6. *Salahinejad M.* Toxic and essential mineral elements content of black tea leaves and their tea infusion consumed in Iran / M. Salahinejad, F. Aflaki // Biological Trace Element Research. – 2010. – Vol. 134, № 1. – P. 109–117.

7. *Исследование* и определение тяжелых элементов в чаях Азербайджана атомно-эмиссионной спектроскопией с индуктивно-связанной плазмой / С. Р. Гаджиева, А. Г. Гусейинли, И. А. Агаева, У. Н. Рустамова // Журн. науч. публ. аспирантов и докторантов. – 2011. – № 4. – С. 83–87.

8. *Инверсионная* вольтамперометрия / Ф. Выдра, Ф. Скальный, К. Штулик, Э. Юлакова. – М. : Мир, 1980. – 278 с.

9. *Носкова Г. Н.* Минерализация пищевых продуктов. Методическое пособие по подготовке проб для определения содержания токсичных элементов : практ. рук-во / Г. Н. Носкова, А. В. Заичко, Е. Е. Иванова. – Томск : ТПУ, 2010. – 30 с.

10. *Дерффель К.* Статистика в аналитической химии : пер. с нем. / К. Дерффель. – М. : Мир, 1994. – 146 с.

11. *ДСТУ 3021-95*. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. – К. : КНДІРВА, 1995. – 74 с.

12. *Скальный А. В.* Биоэлементы в медицине / А. В. Скальный, И. А. Рудаков. – М. : Оникс XXI век, 2004. – 272 с.

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 620.197.3

Ю.В. Квашук, канд. техн. наук
Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів, Україна
О.І. Сиза, д-р техн. наук
О.М. Савченко, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОСЛИННІ ЕКСТРАКТИ У ПРОТИКОРОЗІЙНОМУ ЗАХИСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Ю.В. Квашук, канд. техн. наук
Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, г. Чернигов, Украина
О.И. Сизая, д-р техн. наук
О.Н. Савченко, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ЭКСТРАКТЫ В ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Yuliia Kvashuk, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National Pedagogical University named T.H. Shevchenko, Chernihiv, Ukraine
Olha Syza, Doctor of Technical Sciences
Olesia Savchenko, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

PLANT EXTRACTS IN ANTICORROSIVE PROTECTION OF WATER SUPPLY SYSTEMS

Наведено результати комплексного оцінювання корозійно-електрохімічної поведінки маловуглецевих сталей у водопровідній воді із додаванням екстракту коріння хріну. Виявлено залежність протикорозійної активності дослідженої інгібуючої добавки від її концентрації. Розроблений інгібітор (ХС) є екологічно безпечним як на стадії виробництва, так і застосування, доступним за сировинною базою, відповідає санітарно-гігієнічним нормам.

Ключові слова: *інгібітор корозії, екстракт коріння хріну, протикорозійна активність.*

Представлены результаты комплексной оценки коррозионно-электрохимического поведения малоуглеродистых сталей в водопроводной воде с добавлением экстракта корней хрена. Установлена зависимость противокоррозионной активности исследованной ингибирующей добавки от ее концентрации. Разработанный ингибитор (ХС) является экологически безопасным как на стадии производства, так и применения, доступным по сырьевой базе, соответствует санитарно-гигиеническим нормам.

Ключевые слова: *ингибитор коррозии, экстракт корней хрена, противокоррозионная активность.*

The results of a comprehensive assessment of corrosion-electrochemical behavior of low-carbon steels in tap water with the addition of an extract of the horse-radish roots are given. The dependence of the corrosion-inhibiting additives actively explore on its concentration. Designed inhibitor (XC) is an environmentally friendly both in the manufacture and use, an available on the resource base, meets sanitary and hygienic standards.

Key words: *corrosion inhibitor, extract of the horse-radish roots, anticorrosive activity.*

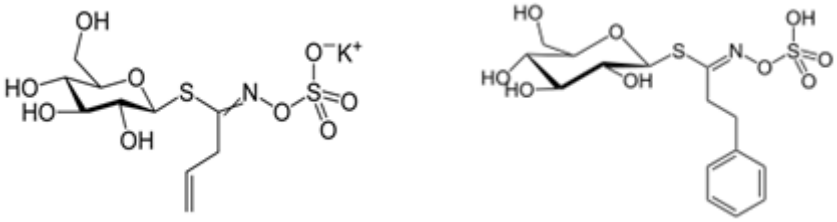
Постановка проблеми. Проблема протикорозійного захисту систем водопостачання завжди була і залишається у центрі уваги інженерної практики. Відомо, що середовища оборотного водопостачання виробничих підприємств виявляють значну агресивність: у замкнених системах з часом випадають важкорозчинні сполуки; зростає карбонатна твердість, вміст хлоридів та сульфатів; змінюється pH середовища, швидкість потоку, градієнт температур. Продукти корозії погіршують якість води і забруднюють внутрішню поверхню труб, зменшуючи їх пропускну здатність та знижуючи ефективність роботи. Як результат, погіршується тепловіддача, підвищується опір середовищу, що рухається, у зв'язку зі зменшенням вільного перетину труб [1].

Серед пріоритетних інженерних методів забезпечення надійності систем водопостачання, відповідно до Держстандарту, є застосування інгібіторів корозії. На сьогодні для протикорозійного захисту водооборотних систем пропонуються композиції, до складу яких входять у різних співвідношеннях фосфатний і фосфонатний інгібітори, безводна гігроскопічна сіль лужних і лужноземельних металів неорганічних кислот тощо. Суттєвим недоліком таких композицій є утворення фосфатного шламу у воді, необхідність введення їх до системи у твердій фазі, що ускладнює вибір ефективного режиму інгібування і не забезпечує швидкого рівномірного розподілу компонентів у середовищі. Застосування таких інгібіторів корозії, як нітрати, хромати, біхромати обмежене з причин токсичності [2].

У зв'язку з цим необхідність розроблення нешкідливих для природного середовища та життя людини, добре сумісних із водним середовищем засобів протикорозійного захисту металевих конструкцій стимулює пошук нових інгібіторів. Останніми роками, зокрема на базі Чернігівського національного технологічного університету, з використанням екологічно безпечної технології розроблено інгібітори корозії на основі рослинної сировини з високим ступенем протикорозійного захисту металоконструкцій – РС-ЧДТУ, ГС-1 [3; 4]. Актуальним завданням сьогодення залишається розширення асортименту ефективних, екологічно безпечних як на стадії виробництва, так і застосування інгібіторів корозії з широкою сировинною базою для виробництва.

Мета статті. Розроблення ефективних інгібіторів корозії на основі продуктів переробки екологічно безпечної рослинної сировини України (коріння хріну) для захисту систем оборотного водопостачання.

Об'єкти і методи дослідження. Як інгібуючу добавку досліджували протикорозійну активність водно-спиртового екстракту із коріння хріну (інгібітор ХС). Перспективність вибору хріну пов'язана, по-перше, з доступністю сировинної бази, по-друге, з наявністю сульфуру, оксигену і нітрогену в складі діючих речовин коріння. Відомо, що сульфур-, оксиген-, нітрогеновмістні сполуки зарекомендували себе як ефективні інгібітори корозії [5]. Як відомо [6–9], діючими речовинами водно-спиртових екстрактів із рослинної сировини є глікозиди, алкалоїди, флавони, каротиноїди, ксантони. Враховуючи попередні дослідження [9] та аналізуючи хімічний склад коріння хріну, можна зробити висновок, що активними компонентами інгібітору ХС є глікозиди: синігрин – 83 % та глюконастурціїн – 11 % (рис. 1).



Синігрин **Глюконастурціїн**

Рис. 1. Діючі речовини інгібітору ХС

Інгібітор ХС – рідина жовтого забарвлення з вмістом активних речовин 2 %. Корозійні випробування проводили гравіметричним та електрохімічним методами у водогінній воді (pH – 7,2; мінералізація – 372,4 мг/л; загальна жорсткість – 4,7 мг-екв/л; Ферум загальний – 0,4 мг/л) за температури 291 К. Для оптимізації кількості інгібуючої добавки дослідження проводили за умови концентрації екстракту в робочому середовищі: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 г/л, у перерахунку на діючі речовини. Поляризаційні виміри здійснювали на зразках сталі 20 (потенціостат П-5827), статичні вагові дослідження – на зразках зі сталі Ст3 у вигляді прямокутних пластинок розміром 50,3×22,3×3,2 мм. Поверхню зразків послідовно шліфували на дрібнозернистому папері марок Р 240 – Р 1200, промивали у проточній воді і знежирювали. Після експозиції поверхню зразків

очищали від продуктів корозії, промивали проточною водою, висушували, знежирювали і зважували.

Швидкість корозії оцінювали за формулою:

$$K_m = (m_1 - m_2)/ S \cdot \tau,$$

де K_m – швидкість корозії, г/(м^2·год); m_1, m_2 – маса зразка до випробування та після випробування, відповідно, г; S – площа поверхні зразка, м^2 ; τ – тривалість дослідження, години.

Ефективність захисної дії інгібітора корозії оцінювали за ступенем захисту Z_m:

$$Z_m = [(K_m - K'_m) / K_m]\cdot 100, \%,$$

де K_m, K'_m – швидкість корозії за втратою маси металу без інгібітору та з інгібітором відповідно, г/(м^2·год).

Оже-електронну спектроскопію застосовували для контролю за вмістом і розподілом хімічних елементів у приповерхневому шарі металу (*Оже*-спектрометр AES-2000 приладового комбайна-лабораторії LAS-2000 Riber, Франція).

Результати дослідження. Результати електрохімічних досліджень впливу різних концентрацій інгібітору ХС на корозійну дію водогінної води за температури 291 К на сталь 20 наведено на рис. 2 та в табл.

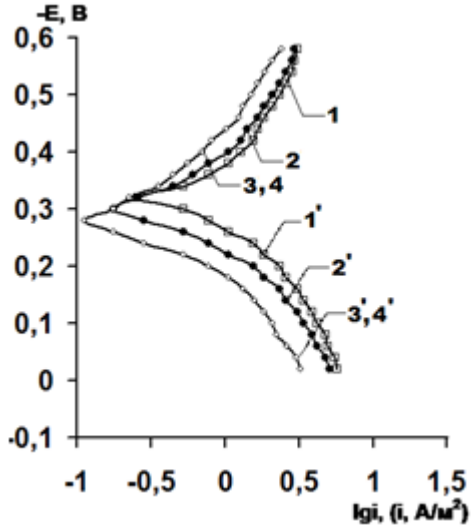


Рис. 2. Поляризаційні катодні (1-4) й анодні (1'-4') криві сталі 20 у водогінній воді без інгібітору (1,1') та з добавками інгібітору ХС (г/л, у перерахунку на діючі речовини): 2,2' (0,1); 3,3' (0,2); 4,4' (0,3)

Таблиця

Залежність параметрів електрохімічної корозії та ефективності інгібування сталі 20 від концентрації інгібітору ХС у водогінній воді

Ін, г/л	**Потенціал корозії, В**	**Густина струму, А/м^2**			**Коефіцієнт інгібування**			**Ступінь захисту, %**		
	$-E_c$	$i_к$	i_a	i_c	$\gamma_к$	γ_a	γ_c	$Z_к$	Z_a	Z_c
–	0,32	1,29	1,55	0,55	–	–	–	–	–	–
0,1	0,30	1,05	0,78	0,18	1,23	1,99	3,06	18,60	49,68	67,27
0,2	0,28	071	0,28	0,11	1,82	5,54	5,00	44,96	81,94	80,00
0,3	0,28	0,71	0,28	0,11	1,82	5,54	5,00	44,96	81,94	80,00

Примітка: $i_к$ при $E_к$=-0,4 В, i_a при E_a = -0,22 В.

За поляризаційними вимірами встановлено, що збільшення концентрації інгібуючої добавки з 0,1 до 0,3 г/л (у перерахунку на діючі речовини) сприяє зростанню захисних властивостей: γ_c збільшується у 1,63 раза, Z_c – у 1,19 раза. При додаванні інгібітору в корозивне середовище відбувається гальмування обох процесів – катодного й анодного

($\gamma_a > \gamma_к$). Спостерігається зміщення потенціалу корозії E_c в анодну область на 20–40 мВ залежно від концентрації. Встановлено, що для інгібітору ХС оптимальна концентрація у воді – 0,2 г/л (у перерахунку на діючі речовини).

Гравіметричні дослідження підтвердили попередні результати (рис. 3). Відмічено, що у воді без інгібітору швидкість корозії сталі значна – корозійні ураження поверхні металу помітні візуально вже на другий день. Продукти корозії у вигляді бурого осаду випадають на дно склянки. В середовищах з інгібіторами зразки залишаються чистими впродовж 192 годин дослідження.

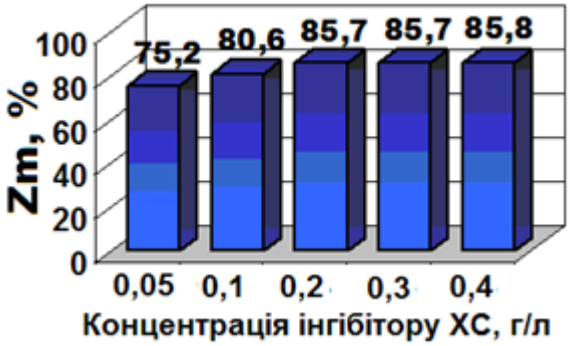


Рис. 3. Протикорозійна активність інгібітору ХС на сталі Ст3 у водогінній воді за температури 291 К

Таким чином, хоча екстракт коріння хріну поступається за ефективністю інгібіторного захисту сталей у нейтральному середовищі розробленому нами раніше інгібітору на основі зерен ріпаку – РС-ЧДТУ (Z_m = 96 %) [3], проте також виявляє досить високі показники протикорозійної активності. Глікозиди у складі інгібітору ХС у водних розчинах частково гідролізують, що пояснює дещо знижену ефективність дії. Синігрин розкладається на калій гідрогенсульфат, глюкозу і гірчичну ефірну олію (рис. 4):

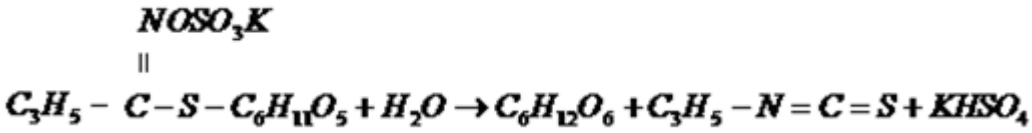


Рис. 4. Продукти гідролізу синігрину

У результаті гідролізу глюконастурціїну утворюється глюкоза, гірчична ефірна олія та сульфатна кислота (рис. 5):

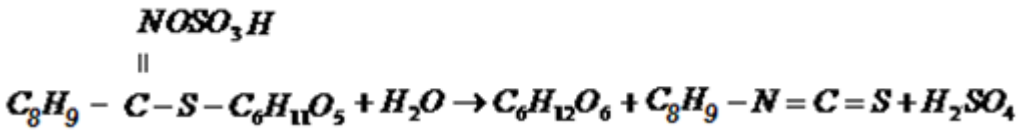


Рис. 5. Продукти гідролізу глюконастурціїну

Порівняння результатів *Оже*-спектроскопії за вмістом Феруму у приповерхневих шарах сталі Ст3 на повітрі (контрольний зразок) та у воді з інгібітором (рис. 6) показує їх близькі значення. Тоді як у воді без інгібітору вміст Феруму суттєво зменшується. Пояснюється це тим, що у присутності інгібітора ХС поверхня сталі вкривається захисною плівкою, яка може складатися з Феруму оксидів та сполук Феруму з інгібітором. Існування захисної плівки на поверхні сталі ускладнює дифузію йонів-активаторів до поверхні металу і перешкоджає виходу Феруму у вигляді первинних продуктів корозії.

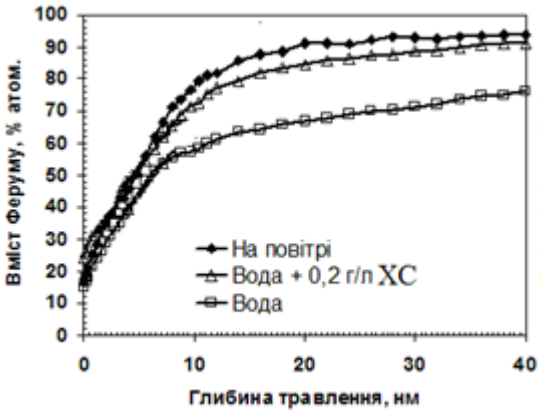


Рис. 6. Залежність вмісту Феруму від глибини травлення зразків із сталі Ст3 (час експозиції у воді 168 годин)

Висновки. Запропоновано інгібітор корозії маловуглецевих сталей на основі коріння хріну – ХС. Максимальні захисні властивості у водогінній воді спостерігаються при концентрації екстракту 0,2 г/л, у перерахунку на діючі речовини (Z_m – 85,7 %). Розроблений інгібітор є екологічно безпечним як на стадії виробництва, так і застосування, доступним за сировинною базою, відповідає санітарно-гігієнічним нормам, що дозволяє рекомендувати його для протикорозійного захисту металоконструкцій.

Методом *Оже*-електронної спектрометрії підтверджено наявність захисної плівки на поверхні сталі Ст3 в інгібованих розчинах.

Список використаних джерел

1. *Особливості* застосування інгібітора КОРСОЛ-2 для захисту локальних водооборотних систем / З. В. Слободян, Л. А. Маглатюк, В. М. Синіло, Р. Б. Купович // Вісник Чернігів. держ. технол. ун-ту. – 2011. – № 3 (51). – С. 128–131.

2. *Караван С. В.* Борьба с коррозией в системах водоснабжения / С. В. Караван, В. И. Терентьева, Н. М. Павловец. – СПб. : Проспект Науки, 2007. – 336 с.

3. *Влияние* продуктов переработки растительного сырья на коррозионно-электрохимическое поведение стали в пищевых производствах / О. И. Сизая, О. Н. Савченко, Ю. В. Квашук, А. А. Королев // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 4 (2). – С. 179–182.

4. *Вплив* технологічних факторів на корозійну тривкість сталей в харчових виробництвах / Ю. Квашук, О. Сиза, О. Савченко, В. Челябієва // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – Спец. випуск № 9, т. 1. – С. 226–231.

5. *Иванов Е. С.* Ингибиторы коррозии металлов / Е. С. Иванов, С. С. Иванов. – М. : Знание, 1980. – 64 с.

6. *Corrosion* inhibition of mild steel by plant extract in dilute HCl medium / L. R. Chauhan, G. Gunasekaran // Corrosion Science. – 2007. – Vol. 49, № 3. – P. 1161–1165.

7. *Plant* extract as Eco-Friendly inhibitor on the Corrosion of Mild Steel in Acidic Media / S. K. Hasan, P. Sisodia // RASAYAN Journal of Chamistry. – 2011. – Vol. 4, № 3. – P. 548–553.

8. *Corrosion* inhibitor-A plant extract / R. Saratha, R. Meenakshi // Der Pharma Chemica. – 2010. – Vol. 2, № 1. – P. 287–294.

9. *Сиза О. І.* Механізм дії інгібіторів корозії на основі рослинної сировини / О. І. Сиза, Ю. В. Квашук, О. М. Савченко // Вісник Чернігів. держ. технол. ун-ту. – 2013. – № 3 (67). – С. 62–68.

УДК 628.4

В.А. Крупко, аспірант
Л.М. Клінцов, канд. техн. наук
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОНІТОРИНГ СТАНУ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ЇХ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ

В.А. Крупко, аспирант
Л.М. Клинцов, канд. техн. наук
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Vitalii Krupko, PhD student
Leonid Klintsov, PhD in Technical Sciences
Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

MONITORING THE STATUS OF LAND RESOURCES TO USE THEM EFFECTIVELY

Розроблено математичну модель залежності порушених земель Чернігівщини за період 2005–2012 роки, здійснено прогноз стану земельних ресурсів Чернігівщини з використанням розробленої математичної моделі. Виявлена тенденція зростання кількості порушених земель потребує активного пошуку зменшення антропогенного тиску на землі. Зокрема, одним із напрямів є проведення досліджень з виявлення можливості утилізації вмісту мулових майданчиків, які з кожним роком займатимуть усе більші площі. Оцінювання безпечності земель, забруднених відходами каналізаційно-очисної станції, проведено з використанням біоіндикаторів Daphnia magna Straus.

Ключові слова: *стан земель, мулові майданчики, утилізація відходів.*

Разработана математическая модель зависимости нарушенных земель Черниговщины за период 2005–2012 года, осуществлен прогноз состояния земельных ресурсов Черниговщины с использованием разработанной математической модели. Выявлена тенденция роста количества нарушенных земель требует активного поиска уменьшение антропогенного давления на земле. В частности, одним из направлений является проведение исследований по выявлению возможности утилизации содержимого иловых площадок, которые с каждым годом занимают все большие площади. Оценка безопасности земель, загрязненных отходами канализационно-очистной станции, проведена с использованием биоиндикаторов Daphnia magna Straus.

Ключевые слова: *состояние земель, иловые площадки, утилизация отходов.*

A mathematical model of disturbed lands Chernihiv depending on the period 2005–2012 years, by forecast of Chernihiv land resources of the developed mathematical model. The observed trend of increasing number of disturbed lands requires active search for reducing human pressure on land. In particular, one of the ways is to conduct research to identify opportunities disposal of sludge content sites, which each year will occupy more and more space. Safety assessment of land contaminated waste sewage treatment plant, conducted using bioindicators Daphnia magna Straus.

Key words: *state land, silt sites, waste management.*

Постановка проблеми. Основними принципами державної політики у сфері охорони земель, задекларованими Законом України «Про охорону земель», є збереження земель як основного національного багатства українського народу. Чинні законодавчі і нормативні документи потребують оптимізації використання й охорони земель [1]. Але, як відомо, є високе антропогенне навантаження на земельні ресурси України, зокрема, потерпає від цього й один з найбільших регіонів – Чернігівщина. Велика кількість власників землі цього регіону, до яких відносяться: лісогосподарські підприємства – 18,9 %; громадяни – 29,9 %; сільськогосподарські підприємства – 25,8 %; а також заклади, установи – підприємства промисловості, транспорт, Міністерство оборони, водогосподарські підприємства та інші приводить подекуди до нераціонального використання земель, їх погіршення [2; 3; 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливу увагу викликають порушені землі – землі, що втратили свою господарську та екологічну цінність через порушення ґрунтового покриву внаслідок виробничої діяльності. Для Чернігівщини порушені землі становлять тисячі гектарів, зростає також і кількість деградованих земель. Так, якщо у 2009 році кількість деградованих земель становила 3,9 тис. га, то у 2011 р. їх кількість

зросла до 4,35 тис. га [4]. Відомо [5–7], що значну територію займає осад, який утворюється в аеротенках після біологічного очищення стічних вод та вивозиться на так звані мулові карти (мулові майданчики), після чого виникає проблема його утилізації. Перспективними напрямами, що активно обговорюються в літературних джерелах, є використання у будівництві та сільському господарстві, але відомо, що осад може містити різноманітні токсичні компоненти, дія яких на різних етапах технологічного ланцюга утилізації осаду мулових карт вивчена недостатньо.

Таким чином, можливість зменшення забруднених територій за допомогою утилізації забруднювача стримується загрозою існування в ньому різноманітних токсичних компонентів, дія яких вивчена недостатньо. До того ж оскільки на цей осад потрапляє вода у вигляді атмосферних опадів, яка далі поширюється разом з ґрунтовими водами, то важливим питанням є безпечність таких територій. Останнім часом в усьому світі поширюється використання біоіндикаторів для оцінювання якості вод, що має переваги щодо оперативного отримання загальної оцінки, наприклад, ДСТУ 4168-2003 передбачає використання ракоподібних, ДСТУ 4074-2001, ДСТУ 4076-2001 – використання риб та інше. Тому нами визнано доцільним оцінити стан земель з використанням біоіндикаторів [8–10].

Метою роботи є моніторинг стану земельних ресурсів, моделювання антропогенного тиску на землі і виявлення можливості його зменшення завдяки утилізації забруднювача – відходів очисних споруд (вмісту мулових майданчиків) для ефективного використання земель.

Для досягнення обраної мети було визначено такі завдання дослідження:

– на основі статистичних даних розробити математичну модель, що дозволить отримати прогноз стану земель;

– дослідити токсичність забруднювача земель – вмісту мулових майданчиків – для виявлення шляхів його утилізації і раціонального використання земельних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. З використанням статистичних даних [2–4; 6] нами розглянуто зміну кількості порушених земель за тривалий період, представлену на рис. 1. Порівнюючи дані, виявляємо, що у попередні роки (період 1995–2003 років) реалізовано заходи щодо зменшення порушених земель, але останнім часом позитивна тенденція відсутня, ситуація потребує нових підходів до проблеми. Так, оцінюючи період з 2006 року виявляємо, що ситуація нестабільна.

Рис. 1. Виявлення тенденції щодо зміни кількості порушених земель Чернігівщини

Для побудови прогнозу зміни кількості порушених земель на період до 2020 року нами враховано фактичні дані, опубліковані Державним управлінням екології та природних ресурсів у Чернігівській області, та використано значення кодованих років (для отримання кодованого року від цифрового значення року потрібно відняти 2000), як це вказано у табл. 1.

Таблиця 1

Вихідні та прогнозні дані щодо порушених земель

Кодовані значення	**Фактичні значення порушених земель, тис. га**	**Прогнозні значення порушених земель, тис. га**	**Роки фактичні**	**Фактичні значення порушених земель, тис. га**	**Прогнозні значення порушених земель, тис. га**
5	3,161	3,15535	2005	3,161	3,15535
6	3,134	3,14108	2006	3,134	3,14108
7	3,129	3,13067	2007	3,129	3,13067
8	3,129	3,12412	2008	3,129	3,12412
9	3,123	3,12143	2009	3,123	3,12143
10	3,127	3,1226	2010	3,127	3,1226
11	3,127	3,12763	2011	3,127	3,12763
12	3,138	3,13652	2012	3,138	3,13652
13		3,14927	2013		3,14927
14		3,16588	2014		3,16588
15		3,18635	2015		3,18635
16		3,21068	2016		3,21068
17		3,23887	2017		3,23887
18		3,27092	2018		3,27092
19		3,30683	2019		3,30683
20		3,3466	2020		3,3466

Вибір моделі методом найменших квадратів щодо порушених земель представлено на рис. 2. Прогноз, побудований з використанням кодованих років, свідчить про виявлену тенденцію до зростання кількості порушених земель у період до 2020 року (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,8796$) за рівнянням:

$$Y=0,00192\ z^2 - 0,0355\ z + 3,2846, \quad (1)$$

де Y – площа порушених земель, z – кодовані роки.

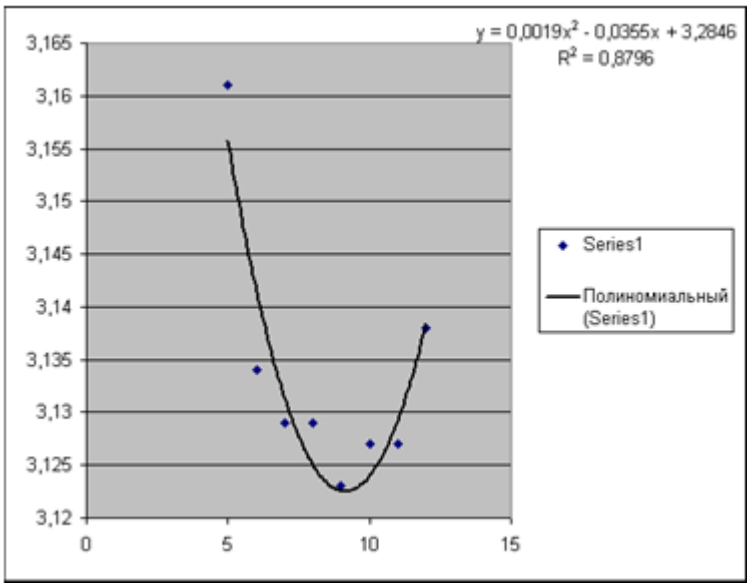


Рис. 2. Тенденція зростання кількості порушених земель

Виявлена тенденція зростання кількості порушених земель потребує активного пошуку зменшення антропогенного тиску на землі. Зокрема, одним із напрямів є проведення досліджень з виявлення можливості утилізації вмісту мулових майданчиків, які з кожним роком займатимуть усе більші площі (рис. 3).

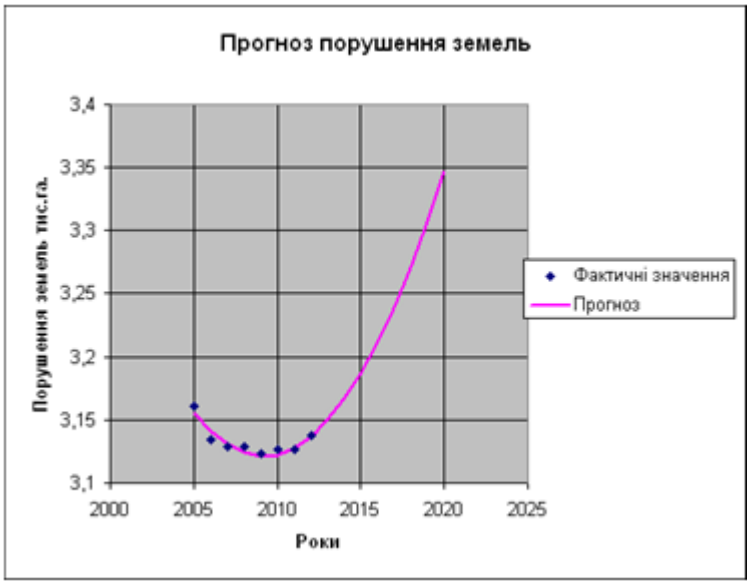


Рис. 3. Зміна кількості порушених земель – фактична і прогнозна

Для того, щоб дослідити безпечність для використання у сільському господарстві й будівництві АМ проведено дослідження ймовірної токсичності води, яка проходить крізь свіжий осад та осад після витримки у 12 місяців на мулових майданчиках і потрапляє у ґрунти. Для аналізу відбирали осад з мулових майданчиків (ОММ), який має вигляд, представлений на рис. 4.

а *б*

Рис. 4. Осад після біологічного очищення стічних вод: новоутворений осад на муловому майданчику (а) та осад, витриманий 12 місяців на муловому майданчику (б)

Досліджувані водні розчини готувались із новоутвореним осадом мулових майданчиків (вибірки 1, 2) і ОММ з витримкою на мулових майданчиках 12 місяців (вибірки 3, 4). Отримана суспензія була профільтрована крізь фільтр марки ФО ФС-17. Змішування АМ з водою моделює спочатку процес розчинення ОММ внаслідок опадів, далі – фільтрацію утвореної суспензії крізь природні матеріали (пісок, гравій тощо) і подальше поширення забрудненої води з ґрунтовими водами. До прозорого об'ємом 100 мл з концентрацією 2,5 і 5 % додавали згідно з КНД 211.1.4.054-97 [3] по 10 біоіндикаторів – ракоподібних Daphnia magna Straus.

Через 96 годин проведено аналіз токсичності досліджених розчинів згідно з методикою визначення гострої токсичності води на ракоподібних Daphnia magna Straus. Кіль-

кість живих біоіндикаторів Daphnia magna Straus у водних системах з розглянутою концентрацією забруднюючої речовини представлено в табл. 2. Оскільки про гостру токсичність свідчить зменшення біоіндикаторів понад 50 %, то доходимо висновку, що утворені розчини з концентрацією 2,5 і 5 % ОММ не виявили гострої токсичності води. Оскільки перевірка з використанням біоіндикаторів є комплексною перевіркою, можна стверджувати достатню безпечність використання ОММ у сільському господарстві, будівництві, а також відсутність токсичних впливів на довкілля забруднених АМ вод.

Таблиця 2

Дослідження безпечності експериментальних розчинів за допомогою біоіндикаторів Daphnia magna Straus

№ вибірки	Концентрація розчину, %	Наявність живих біоіндикаторів		Висновки
		Контроль	Експеримент	
1	2,5	10	9	Нетоксична
2	5	10	8	Нетоксична
3	2,5	10	10	Нетоксична
4	5	10	9	Нетоксична

Отримані результати щодо виявленої за допомогою біоіндикаторів нетоксичності ОММ забезпечують активізацію утилізації відходів КОС у виробництві будівельних матеріалів для доріг, тим самим відбувається збереження земель від порушення внаслідок видобування тих природних матеріалів, які раніше використовувались у будівельній галузі.

Висновки:

1. Проведено моніторинг стану земель Чернігівщини за період 2005–2020 роки. Розроблена на основі статистичних даних математична модель дозволила виявити тенденцію до зростання порушених земель у період до 2020 року, ситуація потребує нових підходів до проблеми, пошуку резервів зменшення антропогенного навантаження на землі.

2. З метою ефективного використання земель проведена перевірка токсичності осаду мулових майданчиків Чернігівської каналізаційно-очисної станції у вигляді систем з вмістом 2,5 і 5 % ОММ з використанням біоіндикаторів Daphnia magna Straus (комплексна перевірка), яка виявила достатню безпечність використання ОММ у сільському господарстві, будівництві.

Список використаних джерел

1. *Про охорону* земель : Закон України від 19.06.2003 № 962-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 39. – Ст. 349.

2. *Доповідь* про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2003 рік // ДУОНПС ВЧО. – Чернігів, 2004. – С. 63.

3. *Доповідь* про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2010 рік // ДУОНПС ВЧО. – Чернігів, 2011. – С. 97.

4. *Доповідь* про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2011рік // ДУОНПС ВЧО. – Чернігів, 2012. – С. 99–100.

5. *Безвідходна* технологія очищення стічних вод виробництво амінокислот / О. В. Гайдаржи, Л. В. Левандовський, Г. М. Заболотна, Г. С. Андріяш // Збірка тез XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (18–22 травня 2010 р., м. Київ). – К., 2010. – С. 43–44.

6. *Шкінь О. М.* Технічні проблеми при дотриманні законодавчих вимог. Економічні аспекти водовідведення / О. М. Шкінь // IWAS – міжнародна конференція. «Українсько-німецьке партнерство у галузі водного господарства – завдання для науки і практики» (15–16 грудня 2008 р.). – Івано-Франківськ, 2008. – С. 35.

7. *Крупко В. А.* Основні напрямки вдосконалення технології очищення стічних вод / В. А. Крупко // 12-а Міжнародна науково-практична конференція «Качество, Стандартизация, Контроль: теория и практика» (1–5 жовтня 2012 р., Крим, м. Ялта). – К., 2012. – С. 109–110.

8. *КНД 211.1.4.054-97.* Методика визначення гострої токсичності води на ракоподібних «Daphnia magna Straus».

9. *ДСТУ 4074–2001.* Якість води. Визначення гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі. Ч. 1. Статичний метод.

10. *ДСТУ 4076–2001.* Якість води. Визначення гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі. Ч. 3. Проточний метод.

UDC 681.518:338.24

Vitalii Zatserkovnyi, Doctor of Technical Sciences
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

USE OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR MONITORING OF HUNTING SECTOR CONDITIONS

В.І. Зацерковний, д-р техн. наук
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ВПРОВАДЖЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МОНІТОРИНГ СТАНУ МИСЛИВСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

В.И. Зацерковный, д-р техн. наук
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

ВНЕДРЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОХОТНИЧЬИХ ХОЗЯЙСТВ

The following justification is conducted: necessity of implementation of geoinformation systems (GIS) and geoinformation technologies (GIT) for hunting sector monitoring. Possibilities of the use of geoinformation systems (GIS) as one of the most promising approaches to increase monitoring effectiveness are analyzed; these are the tool for practical implementation of new approaches to monitoring on the basis of spatial mapping of objects that have a certain size and propagation in space and the tool for making effective managerial decisions. Approaches of GIS development for tasks on monitoring of hunting sector state were considered.

Key words: *territory, geoinformation systems (GIS), geoinformation technologies (GIT), monitoring.*

Проведено обґрунтування необхідності впровадження геоінформаційних систем (ГІС) і геоінформаційних технологій (ГІТ) у моніторинг стану мисливських господарств. Проаналізовано можливості використання ГІС як одного з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності моніторингу, які є інструментом для практичної реалізації нових підходів щодо управління галуззю, моніторингу на основі просторового відображення об'єктів, що мають певні розміри та поширюваність у просторі та прийняття ефективних рішень. Розглянуто загальні підходи щодо створення ГІС для задач моніторингу стану мисливських господарств.

Ключові слова*: територія, геоінформаційні системи (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), моніторинг.*

Проведено обоснование необходимости внедрения геоинформационных систем (ГИС) и геоинформационных технологий (ГИТ) в мониторинг охотничьих хозяйств. Проанализированы возможности использования ГИС как одного из наиболее перспективных направлений повышения эффективности мониторинга, которые являются инструментом для практической реализации новых подходов к мониторингу на основе пространственного отображения объектов, имеющих определенные размеры и распространенность в пространстве, и средством принятия эффективных управленческих решений. Рассмотрены подходы создания ГИС для задач мониторинга состояния охотничьих хозяйств.

Ключевые слова: *территория, геоинформационные системы (ГИС), геоинформационные технологии (ГИТ), мониторинг.*

Problem definition. The problem of territorial organization of hunting sector in Ukraine was always one of the thorny one. Today with sharp stratification of society at the background together with growth of social inequality and high corruption there is a massive acquisition of the best hunting lands by financial and political elite, as well as push of ordinary hunters to underproductive territories which very often become too expensive for majority of Ukrainian hunters.

There is a tendency observed – tendency of massive noncompliance of hunting legislation norms, including remonstrative poach, intentional damage of private hunting households functioning, those households that limit or close access to local hunters.

All that is happening at the background of noticeable weakening of state services of environmental security and resources utilization, particularly animal world that brings discredit to country status as owner of animal world.

During independence period of Ukraine hinting sector works unprofitable, quantity of hunting lands decreases, the limits of hoofed types of hunted animals are not followed, and their kill estimates by 100–200 times less than in countries of European Union. But as it comes from European countries experience, the use of state hunting fund is not profit-loss but profitable thing. Good examples in hunting household keeping show our geographical neighbors – Hungary, Poland, Czech Republic and Bulgaria. For example in Ukraine, territory id which is 604 thousand square kilometers, 1 thousand of deer is killed, as well as 6-8 thousand of wild boars and 5–7 thousand roe deer; and in neighboring Poland which territory is almost twice less (313 thousand square kilometers) they kill 39 times more of deer, 10 times more of wild boars and 17 times more of row deer [1].

Problems existence in this field demand development and scientific justification of set of tools (environment-oriented, managerial, organization-informational as well) that will improve system of hunting resources recovery, increase of use efficiency on the basis of constant development.

Analysis of latest investigations and releases. The development of scientific problematics connected with increase of efficiency of protection, recovery and use of nature resources potential in general and hunting sector particularly grew during past years. The following scientists contributed into its research – V.D. Baytala, I.K. Bystryakov, V.S. Bondar, P.P. Borschevskyi, V.V. Varankin, M.M. Vedmid, S.A. Hensiruk, D.S. Dobryak, S.I. Dorohuntsov and many others.

Development and establishment of GIS the society is obliged to many foreign, soviet, post-soviet and domestic scientists, among which are O.M. Berlyant, L.M. Bugaevskyi, B.S. Busyhin, G. Dangermond, O.O. Ischuk, E.H. Kapralov, Y.K. Korolyov, A.V. Koshkaryov, M. Kumbs, I.K. Lurie, M. de Mers, V.B. Mokin, V.V. Morozov, O.O. Svitslychnyi, E.S. Seredynin, V.S. Tikunov, Z.F. Tomplinson, A.M. Trofimchuk, V.D. Shypulin, V.Y. Tsvetkov anf many others.

Emphasis on previously unsolved parts of general problem. Among main reasons which cause inefficient keeping of hunting industry and slowdown development of hunting sector in Ukraine one can point imperfect state rules and regulations (absence of accurate order of granting into usage of hunting lands, absence of limits of kill, pass-through capacity, norms of hunting animals kill); imperfect legal regulation of activity of state regional hunting management and hunting service in the field of fight with poach; absence of operative mechanism of damage reparation done to hunting types of animals; imperfect legal regulation of administrative services delivery in field of hunting sector (issue of annual controlling swipe card on wild fowl kill and violation of hunting rules) and inefficient law enforcement by authorized public authorities of state executive government (absence of operative state control over requirements of current legislation, duplication of competences of state public authorities as well); imperfection of interpretation of hunting terminological definitions in Law of Ukraine "About hunting sector and hunting itself" and absence of efficient informational system that would provide effective functioning of modern hunting sector including development of project on internal economical set-up of hunting sector on the territory of Ukraine, based on use of modern methods of hunting arrangement and legal framework, creation of necessary package of cartographic materials, inventory and site class determination of hunting lands, analysis of hunting economic operation, planning of events on wild life conservation, as well as biotechnical, operating and inventory events.

Main target of the publication is grounding of GIS use necessity as efficient tool of spatial analysis of environmental factors influence on the condition of hunting sector and its visualization in process of monitoring and creation of united system of suballocated data processing, organization of scale collecting system, processing, maintenance, analysis and

provision of information about realistic condition of hunting lands with the help of modern informational technologies, first of all geoinformational technologies and Earth Remote Sensing Technologies (EDST).

Chernihivska oblast was chosen as the subject of investigation, **as one of the typical region of Ukraine.**

Initial basis for investigation conducting were data of official statistics of regional statistical and environmental authorities.

Presentation of core material. In process of certain hunting territory management (field) one should operate with huge data volumes, making decision on choice of development strategy (economical, ecological, environmental as well), reasonable nature- and land usage. As spatial information is often critical for field development provision, planning and management, and geoinformational technologies (GIT) ensure consistent spatial unification of such information and its mutual use, modern geoinformation systems (GIS) are world-wide recognized as one of multi-purpose integrated informational and technological tools of solving diverse regional problems [2; 3].

Current hunting sector problems carry systematic nature and lack of people resources and scientific pilot projects are the most important factors of economical growth restraint, and also decrease of economical indexes in this sphere.

For efficient management of available resources, development planning and operative management of hunting sector it is necessary to have computerized system of collection, maintenance and analysis of information appropriate for making efficient management decisions. The existence of computerized system of management (CSM) of hunting sector and its use is impossible without efficient use of geo-spatial information which contains in electronic maps, aerospace, digital orthophotoplans and other sources of information about territory, that are integrated into GIS. Undoubtedly the most efficient tools in spatial data processing today are geoinformation technologies. For the latest decade the understanding of their essence dramatically changed, and functional variety of use seriously expanded – from accomplishment of narrow geographical investigative and cadastral tasks to complicated analytic modelling and advisory managerial tasks practically in all spheres of human activity. For this reason GIS serve as the most important functional part of modern and promising CSM.

Modern GIS let to unite electronic space-oriented images (plans, maps, schemes as well) and data bases in one informational environment. Such integration improves efficiency of their analysis and processing, and reflection of these data in usual look for common people understanding and seriously simplifies and improves mechanism of managerial decision making.

GIS contain cartographic information about location and borders of every separate hunting land, its name, legal address and contact information of households. That is why any hunter would be able to orientate himself through internet on his computer or mobile device, would find hunting place and would be able to find out whom to contact for permissions.

Further on one can connect GIS to electronic service of receipt of applications for hunting permissions. GIS availability will seriously simplify procedure of choice of hunting locations and getting corresponding permissions by hunters.

GIS creation assumes connection of space images of Chernihiv oblast territory to system of coordinates WGS 84, adjustment of topographic base connection to system of coordinates, tracing of hunting lands borders with their description and cartographic materials, and also connection of the net of rides, forests structure on the territory of certain region to WGS 84 system of coordinates. Besides, within the framework of GIS preparation it is necessary to perform decoding of space photos for the whole territory of Chernihivska oblast under categories “forest”, “field”, “bog”, “populated locality”, “waters”, “others”; also it is necessary to

conduct tables correction for binding materials of measuring tasks (winter route measuring, measuring of chickens, water fowls, dippers, semi-aquatic mammals, hoofed animals as well).

For possible use of GIS in management of hunting sector first of all it is necessary to work out the structure of cartographic data base on hunting territories of the region (fig. 1), by ensuring further use of this information for operative sphere management.

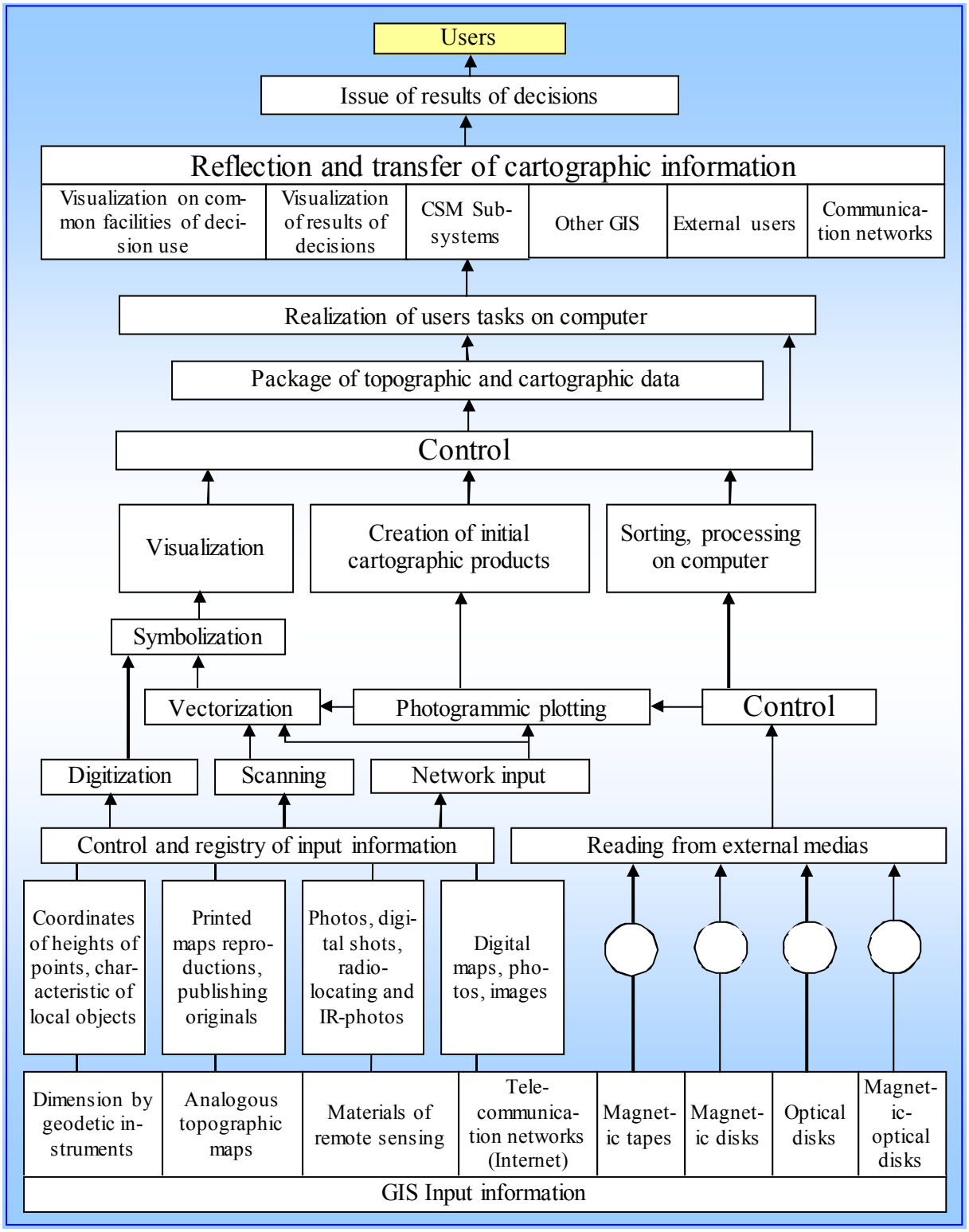


Fig. 1. Functional scheme of cartographic data base creation

GIS structure work-out presupposes use of abstract theorems and methods: system theory and systematic analysis; fundamental principles if informatics, geoinformatics; geodesic and aerophotogrammetric methods of topographic maps creation; modern methods of collection of geodesic information on the basis of GPS-technologies; methods of cartographic modelling; methods of cadastral territory sensing; methods of territory monitoring with use of ERS (Earth remote sensing).

While creating digital model of investigated territory it is necessary to take into consideration its multi-function purpose and possibility of use for solving wide range of territory management tasks.

Taking into account world tendencies that formed in investigated field it is proposed to found on such modern informational technologies: basic Internet technologies; ideology of informational archives and architecture ”client-server”; SQL-oriented instrumental systems (DBMS, ORACLE, INFORMIX as well); CASE-technologies of projecting of information systems and data bases; GIT; technologies of creation and information distribution on modern media bearers; development of graphic and text editors systems; multi-media technologies and technologies of virtual reality creation.

Technical scheme of creation of data bank of diverse information for GIS in territory management is presented below on fig. 2.

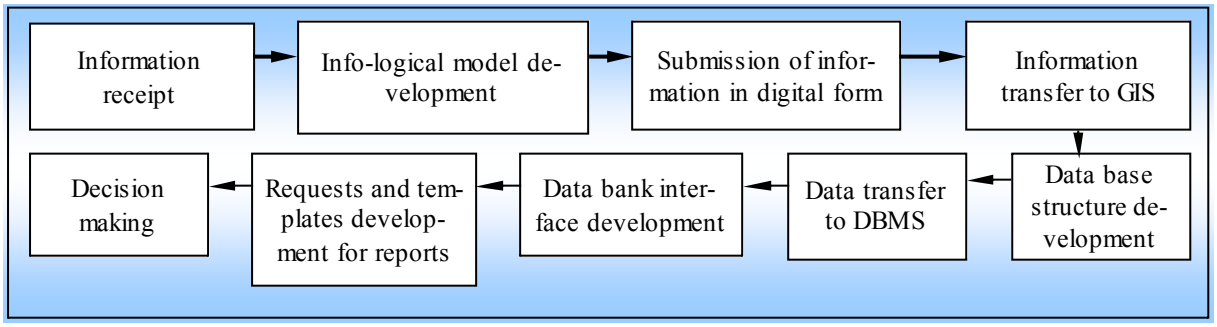


Fig. 2. Technological scheme of creation of data bank of diverse information for GIS monitoring of hunting sector

As initial cartographic material it is proposed to use: review-topographic maps with scale 1:1000000 for the region territory and neighboring territories; topographic maps with scale 1:200 000 for the region territory; geological maps with scale 1:200000; topographic maps for agricultural and forests lands, vessels rivers with the scale 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000; for solving different tasks including monitoring tasks one should use maps with the scale 1:5 000, 1:2 000, 1:500.

With system approach the process of GIS development is interpreted as search of optimal system structure by dividing it into sub-systems. In such a way the development concept “from up to down” is realized.

Structure of generalized GIS scheme is possible to implement on the basis of analysis of input/output informational flows that are functioning in computerized system.

General scheme of technological processes of cartographic information processing in GIS is presented on fig. 3.

Aggregation of input and output GIS data might be presented in form of independent technological collections of three groups: modelling and preservation, submission. It is true; information collection is performed independently from data conservation. Data is maintained independently from information collection and submission procedures. For submission (hand-out) of information in this or that form is provided independently from modelling types.

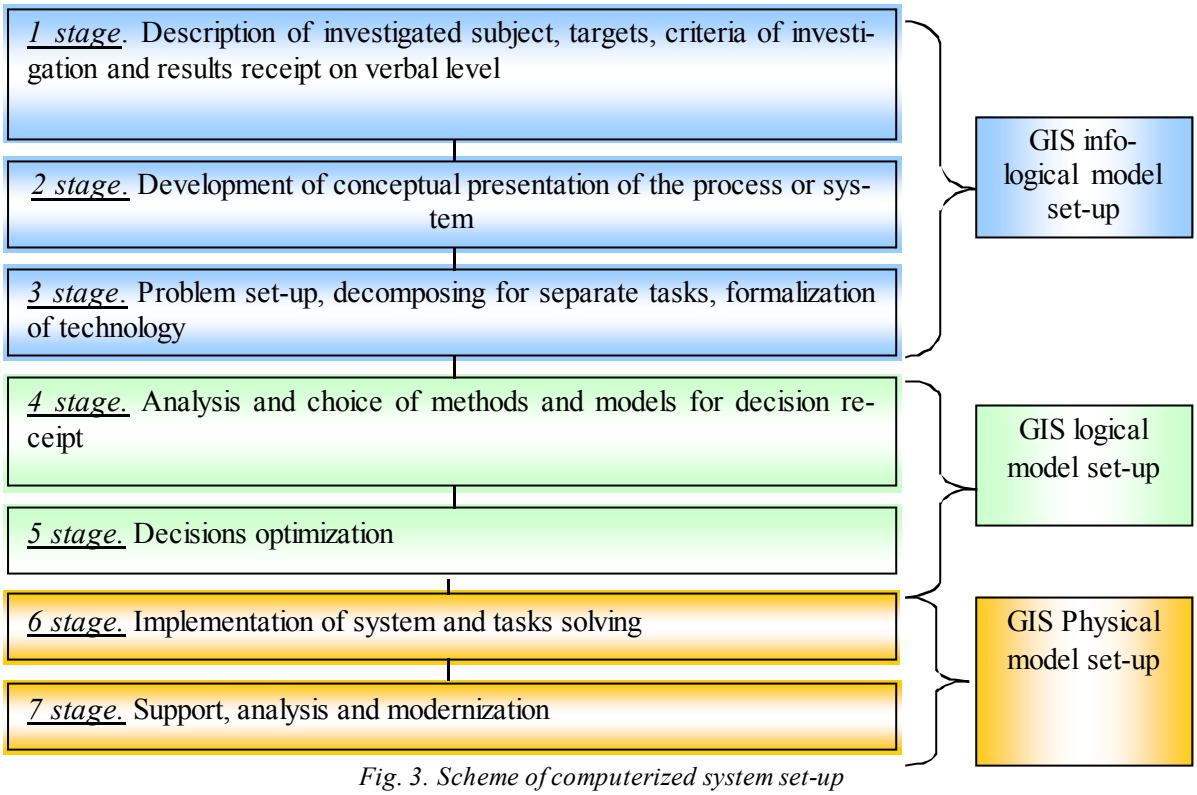


Fig. 3. Scheme of computerized system set-up

Such conditions are enough to present input X and output Y flows of generalized GIS in form of independent collections (in form of Cartesian multiplication [4]:

$$X=\left(X_1 \otimes TT_c \otimes TT_m \otimes TT_s\right);$$
$$Y=\left(X_y \otimes DML \otimes DMM\right), \quad (1)$$

where TT_c – technical task for information collection;

TT_m – technical task for conservation, update and modelling;

TT_s – technical task for data submission after final processing;

X_1 – range of initial data that are measured or collected with the help of different technologies;

X_y – range of unitized data that are received after collection and initial processing;

DML – Digital model of location that is maintained in GIS data base;

DMM – Digital map model that is generated for visual submission on display or for printing.

Within framework of this theory DMM is actually a reflection of digital model of location with the help of means of computerized visualization. Use of DML and DMM is vividly traced in technology of MGE module system work (Modular GIS Environment) and a range of other GIS packages.

Range X is a complicated data collection received with the help of different technologies: from photos, geodesic methods on location, from maps, with the help of GPS systems (Global Position System), from archive table data as well.

On the basis of these conditions of general system theory lets present generalized GIS in form of stratified three-level structure (fig. 4):

For conceptual building of GIS according to (2) it is necessary to determine NRM, NRS, that is informational basis.

Thus, using system approach it is possible to build structural scheme of generalized GIS in form of three-level system (fig. 4) and to conduct comparison of different GIS between themselves on these levels; and also comparison of GIS to other computerized systems.

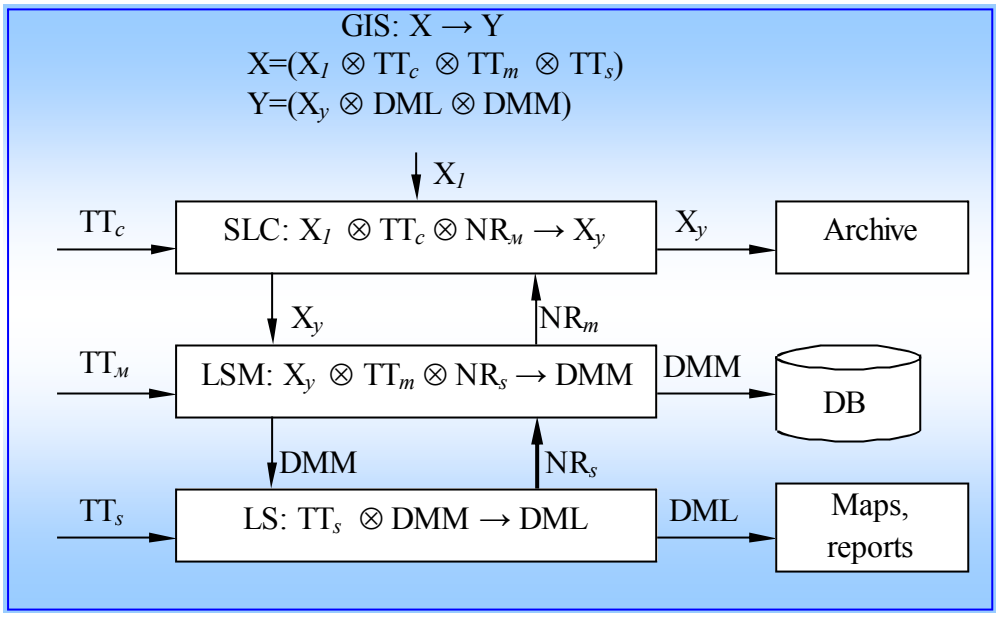


Fig. 4. Structure of generalized GIS

Normative requirements in (2) are determined with further analysis that is with the transfer to next stages of composition.

Term generalized GIS means that while one considers GIS he should disregard its specific use.

$$\begin{aligned} &\text{LSP: } X_1 \otimes TT_c \otimes NR_m \otimes X_y; \\ &\text{УМХ: } X_y \otimes TT_c \otimes NRS \otimes DMM; \\ &\text{PL: } TT_s \otimes DMM \otimes DML, \end{aligned} \qquad (2)$$

where SLC – system level of collection and initial processing of information;

PMX – system level of modelling, conservation and update;

LS – system level of data submission;

NRM, NRS – normative requirements to data while modelling and submitting of information correspondingly; they are analogues of intermediate out-put informational flows.

Functioning of generalized GIS according to its formalized description (7.3) and scheme (fig. 4) is conducted in the following way [4].

On the first system level (LCP) there is a collection of initial data X_1, which are received with the help of different methods and technologies and that is why they have different structure, format and presentation. During initial processing these diverse data are corrected and unified. As a result certain unified sub-range of data X_y is formed and its partially maintained in form of archives and is fully transferred on the level of modelling and conservation.

On second system level (LMC) the following is performed: analysis of unified information X_y, set-up of connections between model parts; removal of redundancy if any; check on integrity and consistency of data; determination initial and external keys; formation of metadata as well. Sub-range Xy contains necessary data for constructing digital model of location which is maintained in data base in form of range of graphic and symbolic information. DMM serves as basis for solving application tasks on the basis of different modelling methods. These processes also take place on the level PMX. In the result of processing, the digital model that was formed or result of its use are being prepared for visual presentation. For this it is transferred on third system level.

On third system level (LP) of DMM is transformed into digital model of map which actually serves as basis for information presentation.

By analyzing groups of tasks of data processing on three system levels it is possible to mark the following.

On the first level the tasks of initial information processing are most widely presented: detection, structuring, decomposition, composition, measuring, compaction, control, unification.

For the second level the most important are tasks of typification, geometric transformation, expert type, build-up of digital models, synthesis as well.

On the third level the most significant are tasks of optimization, composition, synthesis as well.

It is natural that tasks and methods of modelling might be present on every level to a different extent but the type of level determines their importance and meaning.

In general aspect GIS might include such sub-systems:

– semantic modelling (coding) of information that is collected (1st level);
– imitation modelling for control over input information (1st level);
– geometric modelling (1st, 2nd and 3rd level);
– imitation modelling for control over model solutions (2nd level);
– correcting of information on the basis of vector or scalar criteria (1st and 2nd level);
– interactive (intellectual) modelling (2nd level);
– semantic modelling (coding) of information that is maintained in DB (2nd level),
– documentary supporting (3rd level).

During initial information collection the major is semantic modelling. Invariant modelling has a priority on the second level. Intellectual modelling occupies the essential place during interactive processing and in processes of control and correction. Finally informational modelling is major in subsystems of documentary supply.

Thus, independently from type of instrumental system that is the basis for certain GIS, any GIS must have general attributes and characteristics of generalized GIS.

Let's take GIS as complete (informational) system if it contains all three system levels determined above. If not, we will talk about incomplete GIS.

Given method is possible to use not only for GIS but for any computerized system. Thus any information system, management system with similar given conditions (7.2) it is possible to present in form of three-level system. This affinity of system structures that differ by tasks and targets as well as the unity of information transformation gives a reason to talk about unity of concepts and methods of data processing in these systems. Thus on the level of systematic GIS structure and other computerized systems there is a generality of principles of data processing for f application tasks including management, production arrangement, projecting, maintenance and update of data. This generality is a result of integration.

System approach allows to build GIS scheme in form of main levels of information processing and to conduct comparison analysis not only with other computerized systems but also with GIS assigned for different tasks solving.

On the basis of above-presented thoughts the pilot project of hunting households in Chernihivska oblast was created (fig. 5).

Conclusions and propositions. The development of GIS monitoring of hunting lands will allow: ensure citizens' rights for public information, announced by Constitution of Ukraine; increase efficiency of managerial decisions by methods and tools which use digital maps and digital models of locations; integrate informational resources of field into unified regional informational space.

Within framework of created geoinformational project it is possible to trace nature and economic conditions of hunting households in the region, to perform inventory and site class determination of hunting lands, to conduct analysis of hunting business activity both for the latest and for any previous revision period, to plan activities to protect animal world as well as

biotechnical and exploitation activities, to determine actual quantity of animal types which are objects of hunting and optimal density of existence of hunting animal types on one square unit, to determine pass-through capacity of hunting lands, to find out the most efficient approaches of activity of hunting household, to give recommendations on increase of hunting lands value.

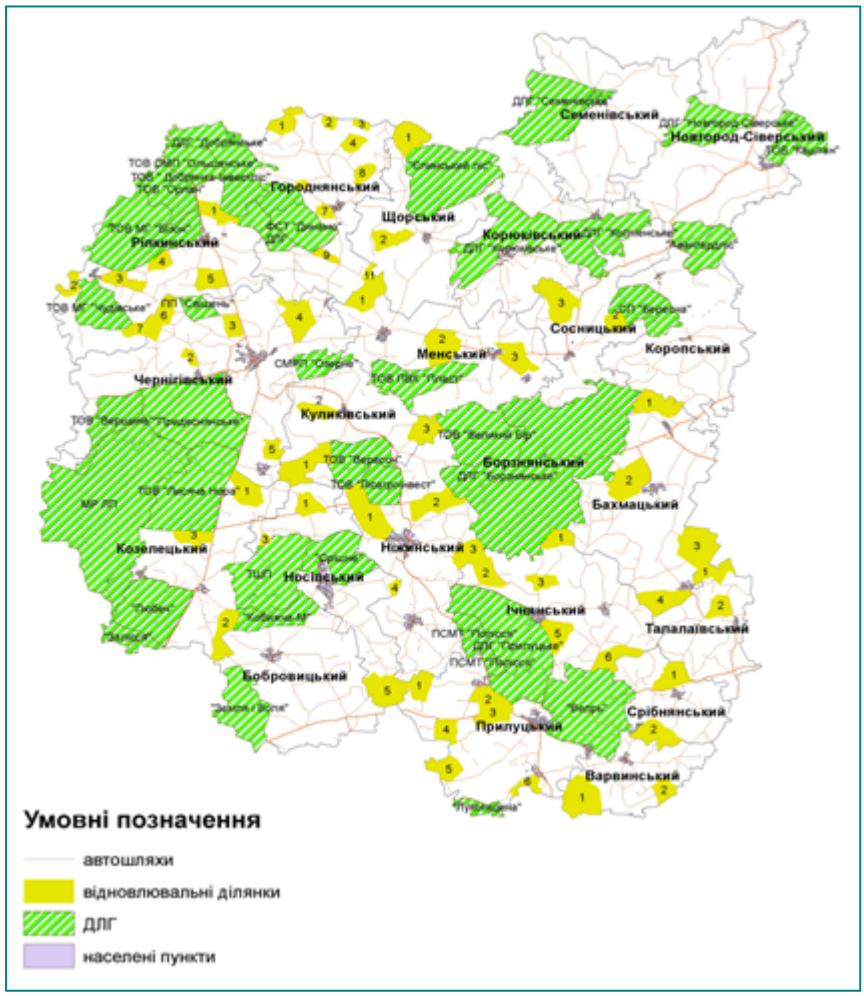


Fig. 5. Map of hunting lands of Chernihivshchyna (adapted from Y.S. Simakina)

GIS development will allow optimizing management of hunting sector in Chernihivska oblast, receiving true-to-fact information on territories of hunting lands, increasing accuracy of accounting reports.

References

1. *State* regulation of hunting economy [Electronic resource] // Referats [website]. – Access : http://referaty.pp.ua/abstracts/ua/dergh-reguluvanya/dergh-reguluvanya_4376_5.php (6.02.15). – Name of the screen.

2. *Burachek V. H.* Basics of geoinformation systems: monograph / V.H. Burachek, O.O. Zheleznyak, V.I. Zatserkovnyi. National Aviation University. – Nizhyn : Aspect-Poligraph, 2011. – 512 p.

3. *Burachek V. H.* Geo-information analysis of spatial data: monograph / V.H. Burachek, O.O. Zheleznyak, V.I. Zatserkovnyi. National Aviation University. – Nizhyn : Aspect-Poligraph, 2011. – 440 p.

4. *Tsvetkov V. Y.* Geoinformation systems and technologies / V.Y. Tsvetkov. – M. : Finance and statistics, 1998. – 288 p.

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО «ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ. СЕРІЯ "ТЕХНІЧНІ НАУКИ"»

Вимоги щодо підготовки рукописів статей для публікації у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"», який внесено до Переліку наукових фахових видань ВАК України, затвердженого постановою Президії ВАК України від 1 липня 2010 року № 1-05/5 (Бюлетень ВАК України № 7, 2010).

Шановні дописувачі!

Спочатку просимо надіслати Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів), оформлені за наведеними нижче вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"». Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість статті і надсилати весь пакет документів до відділу науково-дослідної частини ЧНТУ.

У зв'язку з включенням «Вісника Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"» до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU просимо Вас звернути увагу на деякі зміни в пакеті документів.

1. **Для публікації статті** у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"» необхідно в обов'язковому порядку подати:

– електронний варіант статті, оформленої за зразком (Додаток А);

– рецензію на статтю за підписом доктора наук;

– довідку про авторів, заповнену за наведеним бланком (Додаток Б). Звертаємо Вашу увагу, що ім'я та по батькові автора(ів) подаються повністю;

– квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (Додаток В);

– згоду на публікацію у формі Договору про передачу права на використання твору (бланк Договору розміщено на сайті університету).

2. Вимоги до наукової статті. Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника.

Статтю можна подавати однією з трьох мов: українською, російською, англійською.

Обсяг статті повинен бути таким: мінімум – 5 повних сторінок, максимум – 10 сторінок (остання сторінка має бути заповнена не менш ніж на 3/4).

Стаття подається як у роздрукованому вигляді, так і в електронному варіанті на оптичному диску CD (DVD) або надсилається електронною поштою на адресу: chntu.ndch@gmail.com. Текст статті набирається з використанням комп'ютерних текстових редакторів Word for Windows 97/2000/XP.

3. Структура статті. До друку у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"»приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: УДК. Автори. Назва наукової або освітньої установи, де працюють автори. Назва статті. Анотації. Ключові слова. **Вся інформація про автора (ів), назва статті, анотація і ключові слова подається трьома мовами: українською, російською, англійською.** Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел.

4. Параметри сторінки повинні бути такими:

Формат А4 (210×297 мм).

Поля: верхнє, нижнє та бокові – 25 мм.

Верхній і нижній колонтитули, а також номери сторінок не вводити. Текст повинен бути вирівняний по ширині сторінки.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ У СТАТТІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ РОЗСТАНОВКИ ПЕРЕНОСІВ ТА АВТОМАТИЧНИХ СПИСКІВ. УСІ СПИСКИ ПРОСТАВЛЯЮТЬСЯ У РУЧНОМУ РЕЖИМІ!

5. Вимоги до оформлення структурних елементів статті.

5.1. ***УДК*** – шрифт Times New Roman (кегель 12), курсив, вирівнювання по лівому краю без абзацу.

Автори – ***ініціали та прізвище*** кожного автора починати з нового рядка (шрифт Times New Roman (кегель 12), розміщення по лівому краю, без абзацного відступу, напівжирний), ***науковий ступінь або посада, якщо немає ступеня*** (шрифт Times New Roman (кегель 12), звичайний). Скорочення слід подавати згідно з ДСТУ 3582-97 "Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні правила та вимоги" (наприклад: д-р екон. наук; канд. техн. наук; тис., млн, млрд; грн, дол; табл., рис. тощо). Дані про авторів подаються трьома мовами.

Назва організації – місце (я) роботи автора (-ів) (вирівнювання по лівому краю без абзацного відступу, шрифт Times New Roman (кегель 10)). Після назви організації через кому вказуються місто та країна розміщення організації (трьома мовами).

Назва статті – шрифт Times New Roman (кегель 12). Подається прописними напівжирними літерами, вирівнювання по центру без абзацу, трьома мовами.

Анотація – шрифт Times New Roman (кегель 9), курсив, вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. В анотації має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (обсяг – 8-10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською (Додаток А).

Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. Ключові слова подаються трьома мовами. Кількість ключових слів – 5–7 (Додаток А).

Основний текст – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал).

Розділи статті (Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел) подаються таким шрифтом: Times New Roman, кегель 12, напівжирний, звичайний. Після назви розділу статті ставиться крапка і продовжується текст самої статті.

5.2. Інтервали між елементами статті такі:

– УДК – автори – 1;
– автори – назва організації – 1;
– назва організації – назва статті – 2;
– назва статті – анотація – 1;
– анотація – ключові слова – 1;
– ключові слова – основний текст – 1;
– основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка) – 1;
– назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка – їхні назви) – 1;
– нижній край таблиці (назва рисунка) – основний текст – 1;
– основний текст – список використаних джерел – 1;
– список використаних джерел – перелік джерел – 1.

6. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок. Відповідальність за наведені показники несе автор.

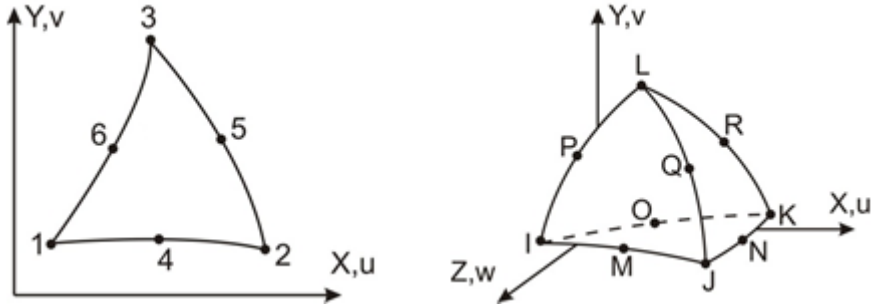
Рисунки і таблиці необхідно подавати у статті безпосередньо після тексту, де вони згадані вперше, або на наступній сторінці.

6.1. Ілюстрації (рисунки та чорно-білі фотографії)

Під час виконання рисунків рекомендується використання Microsoft Visio 2007 (2003). За умови використання закладеної графіки Microsoft Word рисунки повинні бути згрупованими. Шрифт рисунків Times New Roman, кегель 12, курсив.

Рисунки позначають словом "Рис." і нумерують послідовно в межах статті. Якщо у статті є лише один рисунок, він не нумерується. Пояснювальні підписи, номер рисунка, його назву розміщують послідовно під ілюстрацією.

Наприклад:



а *б*

Рис. 3. Види скінченних елементів:
а – 6-вузловий плоский скінченний елемент і б – 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

6.2. Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться у статті, повинен оформлятися у вигляді таблиць.

Розмір тексту таблиць – кегель 12. Усі таблиці повинні мати заголовки. Нумераційний заголовок таблиць (кегель 12) вирівнюють по правому краю таблиці, тематичний заголовок таблиці – по центру (кегель 12, курсив).

Наприклад:

Таблиця 1

Граничні значення режимів різання

№ досл.	$V_к$, м/с	$V_{дет}=V_к/60$	t, мм	$Q_{гр}$, мм²/с	a_z, мкм	$a_{z\ max}$	$n/n_{піз}$
1	20	333	0,033	11	5,32	10,17	10/6
2	40	667	0,033	13	3,04	5,83	11/7
3	60	1000	0,028	18	2,01	3,78	15/10
4	80	1333	0,026	26	1,64	3,07	19/12
5	90	1500	0,025	38	1,59	2,84	25/16

Якщо таблиця не вміщується на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: "Закінчення табл. 1".

6.3. Формули

Використовуючи формули, необхідно дотримуватися певних правил.

Великі, довгі та громіздкі формули, які мають у складі знаки суми, добутку, диференціювання, інтегрування, розміщують на окремих рядках. Це стосується також і всіх нумерованих формул. Для економії місця кілька коротких однотипних формул, відокремлених від тексту, можна подати в одному рядку, а не одну під одною. Невеликі і нескладні формули, що не мають самостійного значення, вписують усередині рядків тексту.

Стиль формул: хімічні формули набирають прямим шрифтом. Формули, на які є посилання, нумерують арабськими цифрами в круглих дужках праворуч, не виходячи за поле. Формули необхідно вирівнювати по лівому краю сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення $(a_z)_{max}$:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (12)$$

де $k_1<1$, $k_2>1$ – показники ступенів при товщині зрізу;

$F(a_z)$, $(1–F(a_z))$ – значення інтегральної функції розподілення розрахункової товщини зрізів, які визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення a_z. Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфування в роботі [7].

7. Список використаних джерел необхідно складати за вимогами, що висуваються до оформлення списку використаних джерел у дисертаційних роботах (Бюлетень ВАК України № 5, 2009).

Заголовок "Список використаних джерел" слід розміщувати посередині рядка, шрифт Times New Roman, кегель 12, напівжирний, а список джерел – 11 кегель.

8. Оплата публікації. Опублікування наукових статей у «Віснику Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки"» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **50 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією, зразок якої наведений у Додатку В.

9. Контактна інформація.

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина). Всі документи, що містять підписи та печатки, повинні бути відсканованими.

Контактна особа: Подимова Людмила Анатоліївна.

Робочий тел.: (04622) 3-42-44.

E-mail: chntu.ndch@gmail.com

Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор. Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи, що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.

Додаток А
Приклад оформлення статті

УДК 621.3.05

О.В. Будьонний, канд. техн. наук
М.А. Прокопець, магістр
Є.Ю. Коваленко, магістр
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

А.В. Будённый, канд. техн. наук
М.А. Прокопец, магистр
Е.Ю. Коваленко, магистр
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Oleksandr Budonnyi, PhD in Technical Sciences
Maryna Prokopets, master
Yevhen Kovalenko, master
National Technical University of Ukraine «Kyiv Politechnic Institute», Kyiv, Ukraine

CONTACTLESS CHARGING BATTERIES

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії теслівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: *безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.*

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передающими и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: *бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.*

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Key words: *noncontact charge, batteries, processes, energy.*

Постановка проблеми. …

Аналіз останніх досліджень і публікацій. …

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. …

Мета статті. Головною метою цієї роботи є …

Виклад основного матеріалу. …

Висновки і пропозиції. …

Список використаних джерел

1. Основные источники электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ecololife.ru/study-539-1.html.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1982. – 622 с.
3. Пентегов И. В. О возможности беспроводной передачи энергии с помощью тесловских процессов / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Техническая электродинамика. – 2005. – № 3. – С. 11–15.
4. ….
5. ….

Додаток Б

Бланк для оформлення довідки про автора

ДОВІДКА ПРО АВТОРІВ

Дані про авторів	Українською мовою	Російською мовою	Англійською мовою
Прізвище			
Ім'я			
По батькові			
Науковий ступінь			
Вчене звання			
Почесне звання			
Місце роботи			
Посада			
Назва статті			
Обсяг статті			
Поштова адреса, на яку необхідно надсилати примірник збірника			
Контактна інформація	роб. тел.		
	дом. тел.		
	моб. тел.		
	e-mail		

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

Договір про передачу права на використання твору укладається на кожну статтю і надсилається поштою у паперовому вигляді з повністю заповненими автором (ами) твору реквізитами у 2-х примірниках (один для редакційної колегії, інший – для автора). Договір підписується ректором Чернігівського національного технологічного університету й один примірник повертається у паперовому вигляді автору (ам) твору поштою. Наявність Договору про передачу права на використання твору є обов'язковою умовою публікації наукових статей у наукових виданнях університету для всіх аторів.

Додаток В

Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки

Дт 1002 Ідентифікаційний код

Кт 31259203106996 05460798

Одержувач платежу Чернігівський національний технологічний університет

Дата здійснення операції

Дата валютування

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДКСУ Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника

Адреса платника

Призначення платежу за видання у збірнику 25010100

Сума

Загальна сума

(словами)

Підпис платника

Касир

Квитанція

Дт 1002 Ідентифікаційний код

Кт 31259203106996 05460798

Одержувач платежу Чернігівський національний технологічний університет

Дата здійснення операції

Дата валютування

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДКСУ Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника

Адреса платника

Призначення платежу за видання у збірнику 25010100

Сума

Загальна сума

(словами)

Підпис платника

Касир

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 1 (77)

Головний редактор	В.В. Казимир
Відповідальний за випуск	О.І. Пилипенко
Літературний редактор	Л.М. Сила
Коректор	О.С. Смєлова
Комп'ютерна верстка і макетування	В.М. Олефіренко
	Т.В. Коваленко

Підписано до друку 16.03.2015. Формат 60х84/8. Друк різографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 25,81.
Тираж 300 пр. Замовлення № 259/15.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14027, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.