

ISSN 2225-7551

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



В І С Н И К
ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 4 (69)

Чернігів 2013

УДК 62/69+004
ББК 30/35
В53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 9 від 25.11.2013 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 / В53 Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2013. – № 4 (69). – 243 с.

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 збереження природного середовища та легкої і харчової промисловості. 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;

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;

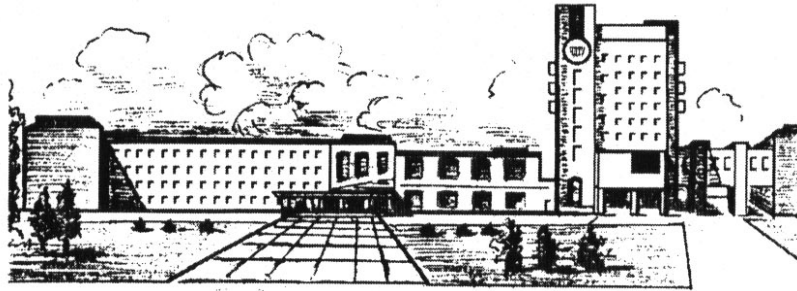
Харченко Г.К., доктор технічних наук, професор;

Чередніченко П.І., доктор технічних наук, професор.

John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.

ISSN 2225-7551

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE



VISNYK

***CHERNIHIV
STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY***

SERIES "TECHNICAL SCIENCES"

SET OF SCIENTIFIC WORKS

ISSUE № 4 (69)

Chernihiv 2013

UDK 62/69+004
BBK 30/35

Published by the decision of the Academic Council of the University (protocol № 9 of 25.11.2013) 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 Technological University. – Chernihiv : Chernihiv National Technological University, 2013. – № 4 (69). – 243 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, energetic, environmental conservation and light and food technologies. 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.

**UDK 62/69+004
BBK 30/35**

Editor in chief:

Kazymyr V.V., Vice-rector of 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;

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;

John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

<i>Балюнов О.О.</i> Деякі результати дослідження пружного стану гнучкої пластини в магнітному полі	9
<i>Космач О.П.</i> Кластерний аналіз параметрів сигналу акустичної емісії під час тертя поверхонь з композиційних матеріалів	13
<i>Черников Б.И., Волик В.С.</i> Геометрия образования световых бликов на поверхностях технических форм	23
<i>Horbatko O.</i> Modeling of twill-structure of reinforcement for plain woven glass fibre/epoxy resin textile composite.....	28

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Малигін Б.В., Котило О.В., Амелін М.Ю.</i> Підвищення надійності систем гідротранспорту за рахунок магнітно-імпульсного оброблення в умовах граничного зношення	35
<i>Федориненко Д.Ю.</i> Оптимізація проектування високошвидкісних гідростатичних опор регульованого типу	40
<i>Михайлов М.И.</i> Влияние статистических параметров сменных многогранных пластин на контактные напряжения с корпусом сборного инструмента	48
<i>Подзолкін І.О., Киянець А.П., Кальченко Д.В.</i> Дослідження двохповодкового двобічного фрикційного приводу деталі при круглому шліфуванні ступінчастих валів.....	56

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

<i>Пентегов И.В., Рымар С.В., Сидорец В.Н., Максимов С.Ю., Ляховая И.В.</i> Расплавление покрытого сварочного электрода при подводной дуговой сварке	65
<i>Коваленко В.Л., Стреленко Н.М., Гаєвський О.А.</i> Дослідження впливу зварювальних флюсів та їх компонентів на стабільність існування дугового розряду.....	76
<i>Новомлинець О.О., Завальна І.В., Половецький Є.В.</i> Особливості отримання нероз'єднаних з'єднань у процесі виготовлення термоелементів	82
<i>Олексієнко С.В., Мартиненко В.О., Куликовський Р.А.</i> Вплив електропереносу на дифузійну кінетику в системі Al-Si-Al.....	91
<i>Гаевский В.О., Прохоренко В.М.</i> Расчёт вероятности выполнения требований к пористости для единичного участка сварного шва.....	96

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Литвинов В.В., Мойсеенко О.П.</i> SVM при классификации мультязычных текстов	101
<i>Вервейко А.И.</i> Виртуальный измеритель функции кратковременной нестабильности частоты	105
<i>Волокита А.М., Піх С.В., Воробйов В.В., Вітюк Д.С.</i> Дослідження ефективності приватної хмарної системи для обчислень кредитного скорингу	115
<i>Мухин В.Е.</i> Структурная организация маршрутизатора для многоканальных компьютерных систем	122
<i>Нікітенко Є. В.</i> Програмна система пошуку несправностей у складних електронних пристроях	127
<i>Роговенко А.І., Сенько С.О.</i> Особливості використання генераторів вихідних кодів на мові опису апаратури	133
<i>Григорьев К.Н.</i> Методы надежной доставки видеосигналов высокого качества	139
<i>Kazymyr V., Tevkun M., Posadska I., Drozd O.</i> Methods of data collection to evaluate the quality of distance learning system	144

Prila O. The algorithm of job scheduling in grid environment based on the dynamic programming method	153
---	-----

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

Скоробогатова В.И., Кулик Б.И. Особенности режима работы действующих электрических сетей с учетом реактивной составляющей мощности	163
Яндульський О.С., Хоменко О.В., Марченко А.А. Аналіз режимів роботи електричної мережі з розосередженою генерацією СЕС	167
Ревко А.С., Єршов Р.Д., Наумов Д.О. Дослідження енергоефективності в системах розподіленого електроживлення за допомогою комбінованого алгоритму розрахунку показників, який працює у складі вбудованої системи	173
Городній О.М., Гордієнко В.В., Степанчук С.М. Порівняння енергетичної ефективності паралельних квазірезонансних імпульсних перетворювачів, які перемикаються при нульовому струмі	183

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Дудла І.О. Складові системи технічного регулювання щодо оцінювання ювелірної продукції в Україні.....	192
Болотов М.Г. Аналітичний огляд основних причин та наслідки аварій будівель та споруд, що сталися на території України за останні п'ять років.....	197
Жарій Я.В., Гавриленко Н.І., Череднікова О.О. Особливості управління ризиками появи неякісної продукції	204
Коваль Т.В. Математична модель напруженого стану торцевої зони пиломатеріалів у процесі її сушіння.....	212
Марченко Н.В. Особливості технології пиляння деревини на радіальні пиломатеріали	216
Медведкова І.І. Деякі особливості математичного моделювання процесу сушіння культивованих грибів.....	221
Молоканова Л.В., Лукомський Ю.О. Зміни мінерального складу січених напівфабрикатів при варіації сировинних компонентів	227
Отрошко В.А., Мережко Н.В. Підвищення формостійкості дитячого взуття	231

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО “ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ. СЕРІЯ “ТЕХНІЧНІ НАУКИ”	236
---	------------

CONTENTS

SECTION I. MECHANICS

Baliunov O. Sum results of investigation of elastic state of a flexible panel in a magnetic field.....	9
Kosmach O. Cluster analysis of acoustic emission signals parameters in friction of composite materials surfaces	13
Chernikov B., Volik V. Geometry of light reflection on technical forms surfaces.....	23
Horbatko O. Modeling of twill-structure of reinforcement for plain woven glass fibre/epoxy resin textile composite	28

SECTION II. INTEGRATED TECHNOLOGIES OF MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT

Malyhin B., Kotylo O., Amelin M. Improvement of hydrotransport reliability by magnetic treatment in the conditions of limited wear.....	35
Fedorynenko D. Optimization of design of high-speed hydrostatic bearings of adjustable type	40
Mikhailov M. Influence of statistical parameters of removable many-sided plastins on pin tensions with the corps of collapsible instrument.....	48
Podzolkina I., Kyianets A., Kalchenko D. The research of two leash double-sided friction over details at the round grinding of step shafts.....	56

SECTION III. WELDING TECHNOLOGIES

Pentegov I., Rymar S., Sidorets V., Maksimov S., Lyakhovaya I.V. Melting-down of the coated welding electrode at a underwater arc welding.....	65
Kovalenko V., Strelenko N., Haievskiy O. Research of influence of welding gumboils and their components on the stability of arc digit existence	76
Novomlynets O., Zavalna I., Polovetskiy Ye. The features of production of permanent connections for making thermoelements.....	82
Oleksiienko S., Martynenko V., Kulykovskiy R. Influence of electromigration on diffusion kinetics in the system AL-Si-AL	91
Gayevskiy V., Prokhorenko V. Calculation of probability of implementation of requirements to porosity for the single area of the weld-fabricated guy-sutures	96

SECTION IV. INFORMATION COMPUTER TECHNOLOGIES

Litvinov V., Moyseyenko O. SVM in the classification of multilingual texts	101
Verveiko A. Virtual meter of the function of short-term instability frequency	105
Volokyta A., Pikh S., Vorobiov V., Vitiuk D. The investigation of the efficiency of private cloud-systems for calculating the scorecard coefficient.....	115
Mukhin V. Structural organization of the router for the multichannel computer systems.....	122
Nikitenko Ye. Software system of troubleshooting in complex electronic devices	127
Rohovenko A., Sienko S. Features of using generators of source codes on hardware description language	133
Grigoryev K. Methods of guaranteed delivery of high quality video signals.....	139
Kazymyr V., Tevkun M., Posadska I., Drozd O. Methods of data collection to evaluate the quality of distance learning system	144
Prila O. The algorithm of job scheduling in grid environment based on the dynamic programming method	153

SECTION V. POWER ENGINEER

Skorobogatova V., Kulik B. The peculiarities of the mode of operations of active electric network with regard to the reactive component of power	163
Yandulskyi O., Khomenko O., Marchenko A. The analysis of the modes of electrical networks work with distributed generation SES	167
Revko A., Yershov R., Naumov D. Energy efficiency analyzing in distributed power systems by dint of combined algorithm which is a part of embedded system	173
Horodnii O., Hordiienko V., Stepanchuk S. Comparison of energy efficiency in parallel kvazirezons pulse converters that switch at zero currents	183

SECTION VI. TECHNOLOGIES OF WOODWORKING, LIGHT AND FOOD INDUSTRY AND CONSERVATION OF ENVIRONMENT

Dudla I. The components of technical regulation system for estimating jewelery in Ukraine	192
Bolotov M. Analytical report of main causes and consequences of accidents of buildings and structures on the territory of Ukraine for the past five years	197
Zhariy Ya., Havrylenko N., Cherednikova O. The management peculiarities of substandard products risk emergence	204
Koval T. Mathematical model of stress state of the end zone of timber in the process of drying	212
Marchenko N. Features of technology of sawing of wood on radial saw-timbers	216
Medvedkova I. Some peculiarities of mathematical modelling of the process of drying of cultivated mushrooms	221
Molokanova L., Lukomskyi Y. Chopped semi-meat mineral composition changes in raw material variation	227
Otroshko V., Merezhko N. Improving of children's footwear shape stability	231

BASIC REQUIREMENTS FOR SUBMITTING MANUSCRIPTS AND SCIENTIFIC ARTICLES	236
--	------------

РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА

УДК 539.3

О.О. Балюнов, канд. фіз.-мат. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДЕЯКІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНОГО СТАНУ ГНУЧКОЇ ПЛАСТИНИ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ

А.А. Балюнов, канд. фіз.-мат. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГОГО СОСТОЯНИЯ ГИБКОЙ ПЛАСТИНЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Oleksii Baliunov, PhD in Physical and Mathematical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

SUM RESULTS OF INVESTIGATION OF A ELASTIC STATE OF FLEXIBLE PANEL IN A MAGNETIC FIELD

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 на деформоване тіло. Результати дозволяють оптимізувати пружно-деформований стан пластини за заданими зовнішніми навантаженнями, що може знайти широке застосування на практиці, зокрема в задачах електромагнітного екранування.

Ключові слова: теорія тонких оболонок, задача магнітопружності, гнучка пластина.

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 на деформированное тело. Результаты позволяют оптимизировать напряженно-деформированное состояние пластины по заданным внешним нагрузкам, что может найти широкое применение на практике, в частности в задачах электромагнитного экранирования.

Ключевые слова: теория тонких оболочек, задача магнитоупругости, гибкая пластина.

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. The results allow to optimize the stress-strain state of the plate 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, flexible plate.

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 одного.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження ефектів взаємодії механічних полів деформування з електромагнітними полями детально висвітлюються в роботах [1; 6; 9]. Пов'язані задачі магнітопружності тонких оболонок і пластин розглядаються в геометрично нелінійній постановці під дією нестационарних електромагнітних полів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У роботах [2; 8; 9] досліджувалась задача щодо оцінювання дії на пластину 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 і ефекти, які характерні для пружно-деформованого стану пластини під дією стороннього струму з врахуванням власного магнітного поля без врахування зовнішнього магнітного поля, описані недостатньо.

Мета статті. Метою цієї роботи є визначення початкового власного магнітного поля, зумовленого стороннім струмом у пластині, а також дослідження особливостей впливу на пружно-деформований стан пластини дії стороннього струму з врахуванням власного магнітного поля.

Виклад основного матеріалу. Розглядається пружно-деформований стан нескінченно довгої пластини-полоси з алюмінію сталюї товщини h , прямокутна декартова система координат обрана так, як на рис. 1. Правий контур жорстко закріплений, лівий – шарнірний і вільний у напрямку осі OZ . Нехай також у незбуреному стані сторонній струм рівномірно розподілений по пластині; зовнішні електричні і магнітні поля відсутні. Розв’язувальна система диференціальних рівнянь в нормальному вигляді Коші [5] має вигляд:

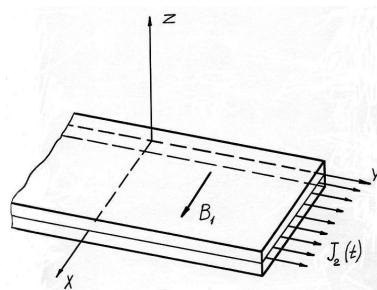


Рис. 1. Нескінченна пластина-полоса у магнітному полі

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{1-\nu^2}{Eh} N_1 - \frac{\vartheta_1^2}{2}; & \frac{\partial Q_1}{\partial x} &= \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - \rho f_3 - p_3; \\ \frac{\partial w}{\partial x} &= \vartheta_1; & \frac{\partial M_1}{\partial x} &= N_1 \vartheta_1 + Q_1 + \frac{\rho h^3}{12} \frac{\partial^2 \vartheta_1}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial \vartheta_1}{\partial x} &= \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} M_1; & \frac{\partial B_3}{\partial x} &= \sigma \mu \left(-E_2 + \frac{\partial u}{\partial t} B_3 - \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial t} (B_1^+ + B_1^-) \right) + \mu J_2; \\ \frac{\partial N_1}{\partial x} &= \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - p_1 - \rho f_1; & \frac{\partial E_2}{\partial x} &= -\frac{\partial B_3}{\partial t}, \end{aligned} \quad (1)$$

де β – координата дуги, u , w – переміщення та вигин, N_1, Q_1, M_1 – відповідно нормальне тангенціальне та поперечне зусилля в перерізі $x = \text{const}$, згинаючий момент, ϑ_1 – кут повороту нормалі до серединної поверхні в перерізі $y = \text{const}$; E_2 – компонента вектора напруження електричного поля; ρ – густина матеріалу пластини; E, ν – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона; μ, σ, J_2 – магнітна проникність, електропровідність та компонента вектора густини стороннього струму; B_i – компоненти вектора магнітної індукції; p_1, p_3 – компоненти вектора інтенсивності поверхневих механічних навантажень, t – час. Вирази для компонент пондеромоторної сили Лоренца

$$\begin{aligned} \rho f_1 &= \frac{\sigma h}{2} \frac{\partial w}{\partial t} (B_1^+ + B_1^-) B_3 - \sigma h \frac{\partial u}{\partial t} B_3^2 + \sigma h E_2 B_3 + h J_2 B_3, \\ \rho f_3 &= \frac{\sigma h}{2} \frac{\partial u}{\partial t} (B_1^+ + B_1^-) B_3 - \sigma h \frac{\partial w}{\partial t} \left(\frac{1}{12} (B_1^+ - B_1^-)^2 + \frac{1}{4} (B_1^+ + B_1^-)^2 \right) + \frac{\sigma h}{2} E_2 (B_1^+ + B_1^-) + \\ &+ \frac{1}{12} \sigma h^2 \frac{\partial \vartheta_1}{\partial t} B_3 (B_1^+ - B_1^-) - \frac{h}{2} J_2 (B_1^+ + B_1^-), \end{aligned} \quad (2)$$

Граничні умови запишемо у вигляді:

$$u = Q_1 = M_1 = 0 \text{ при } x = x_0; \quad u = w = \vartheta_1 = 0 \text{ при } x = x_N. \quad (3)$$

Крім того, на контурі $x = x_0$ заданий закон зміни нормальної складової вектора магнітної індукції

$$B_3 = B_{30} \sin \omega t, \quad (4)$$

де ω – кругова частота, t – час.

Граничні умови для електромагнітної групи рівнянь задають значення напруження електричного поля:

$$E_2 = -\frac{\partial w}{\partial t} B_3 \vartheta_1 + \frac{\partial u}{\partial t} B_3 \text{ при } x = x_0; \quad E_2 = 0 \text{ при } x = x_N. \quad (5)$$

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

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

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

$$\begin{aligned}
\frac{du}{dx} &= \frac{1-\nu^2}{Eh} N_1 - \frac{\vartheta_1^2}{2}; & \frac{dw}{dx} &= -\vartheta_1; & \frac{d\vartheta_1}{x} &= \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} M_1; \\
\frac{dM_1}{dx} &= N_1 \vartheta_1 + Q_1 + \frac{\rho h^3}{12} \ddot{\vartheta}_1^{t+\Delta t}; \\
\frac{dN_1}{dx} &= -p_1 + \rho h \ddot{u}^{t+\Delta t} - \rho f_1; \\
\frac{dQ_1}{dx} &= \rho h \ddot{w}^{t+\Delta t} - \rho f_3 - p_3; \\
\frac{dB_3}{dx} &= \sigma \mu (E_1 + \dot{u}^{t+\Delta t} B_3 - \dot{w}^{t+\Delta t} B_1) + \mu J_1; \\
\frac{dE_2}{dx} &= -\dot{B}_3^{t+\Delta t};
\end{aligned} \tag{6}$$

компоненти сили Лоренца

$$\begin{aligned}
\rho f_1 &= \sigma h (\dot{w}^{t+\Delta t} B_1 B_3 - \dot{u}^{t+\Delta t} B_3^2 + E_2 B_3) + h J_2 B_3, \\
\rho f_3 &= \sigma h (\dot{w}^{t+\Delta t} B_1^2 - \dot{u}^{t+\Delta t} B_1 B_3 + E_2 B_1) + \frac{\sigma h^2}{12} \ddot{\vartheta}_1^{t+\Delta t} B_1 B_3 - h J_2 B_1.
\end{aligned} \tag{7}$$

Для розв'язку нелінійної граничної задачі (3)-(7) скористаємося методом лінеаризації [3; 5], побудувавши ітераційний процес, на кожному кроці якого розв'язується лінійна гранична задача за схемою

$$d\bar{y}_{k+1}/dx = \Gamma(x, \bar{y}_k) \bar{y}_{k+1} + \bar{f}(x, \bar{y}_k) - \Gamma(x, \bar{y}_k) \bar{y}_k,$$

де $\Gamma(x, \bar{y}_k) = (\partial \bar{f} / \partial y_1, \partial \bar{f} / \partial y_2, \dots, \partial \bar{f} / \partial y_n)$.

Лінійна гранична задача розв'язувалась з використанням стійкого чисельного методу дискретної ортогоналізації Годунова [4].

При розв'язанні задачі параметри пластини і величини зовнішніх навантажень мали значення:

$h = 5 \times 10^{-4}$; $x_0 = 0$, $x_N = 0,745$; $E = 7,1 \times 10^{10}$; $\nu = 0,34$; $\mu = 1,256 \times 10^{-6}$; $\sigma = 3,63 \times 10^7$; $B_3 = 0,5$; $\rho = 2670$; $\omega = 314,16$, крок інтегрування за часом у схемі Ньюмарка приймався $\Delta t = 5 \times 10^{-4}$. З метою зрушення пластини із рівноваги та початку процесу коливання до поверхні прикладене розподілене механічне навантаження $p_3 = -10$.

Початкове власне магнітне поле, зумовлене стороннім електричним струмом, визначається із розв'язку задачі магнітостатики [5] і становить:

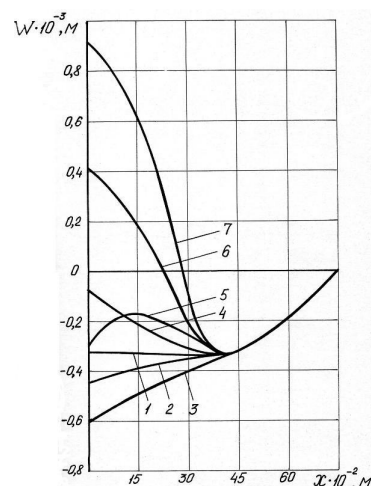
$$B_{10}^+ = \frac{h\mu}{2} J_{20}. \tag{8}$$

З урахуванням (8) а також розподілу компоненти B_1 магнітного поля по поверхні пластини [6]:

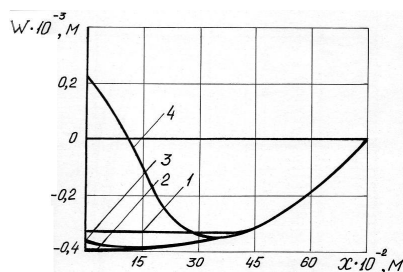
$B_1^+ = B_{10}^+ - (B_{30} - B_3) \vartheta_1$, де B_{10}^+ , B_{30} – компоненти магнітної індукції початкового власного магнітного поля, зумовленого електричним струмом, компоненти пондеромоторної сили Лоренца набудуть вигляду:

$$\begin{aligned}
\rho f_1 &= \sigma h (\dot{w}^{t+\Delta t} B_3^2 \vartheta_1 - \dot{u}^{t+\Delta t} B_3^2 + E_2 B_3) + h J_2 B_3, \\
\rho f_3 &= \sigma h \left(\dot{w}^{t+\Delta t} \left(\frac{\mu^2 h^2 J_2^2}{12} + B_3^2 \vartheta_1^2 \right) - \frac{1}{2} \dot{u}^{t+\Delta t} \vartheta_1 B_3^2 + E_2 B_3 \vartheta_1 \right) + \frac{\mu \sigma h^2}{12} \ddot{\vartheta}_1^{t+\Delta t} B_3 J_2 - h J_2 B_3 \vartheta_1.
\end{aligned} \tag{9}$$

На рис. 2 представлено залежності $w = w(x)$ у кінцевий момент часу $t = 0,01$ для значень густини стороннього струму J_2 . Криві 1-7 на рис. 2, а відповідають значенням струму $J_2 = \{0; 0,25 \times 10^6; 0,5 \times 10^6; 2,5 \times 10^6; 4,0 \times 10^6; 4,5 \times 10^6; 5,0 \times 10^6\}$; криві 1-4 на рис. 2, б відповідають значенням струму $J_2 = \{0; -0,5 \times 10^6; -2,5 \times 10^6; -5,0 \times 10^6\}$.



а



б

Рис. 2. Значення вигину

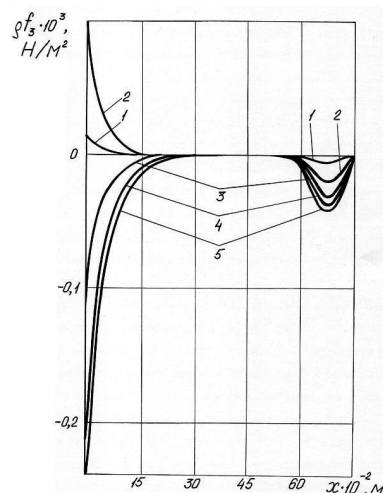
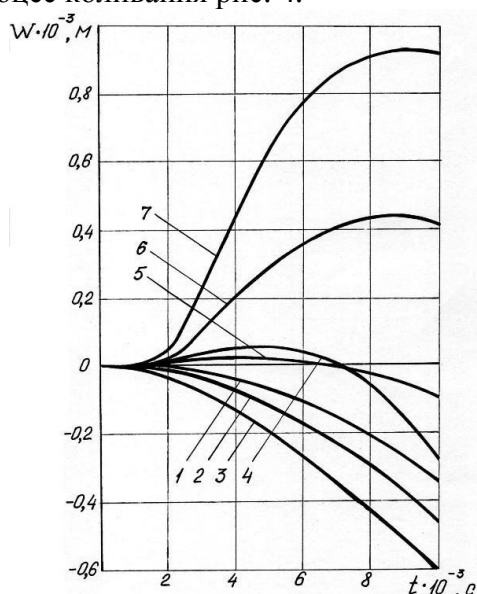


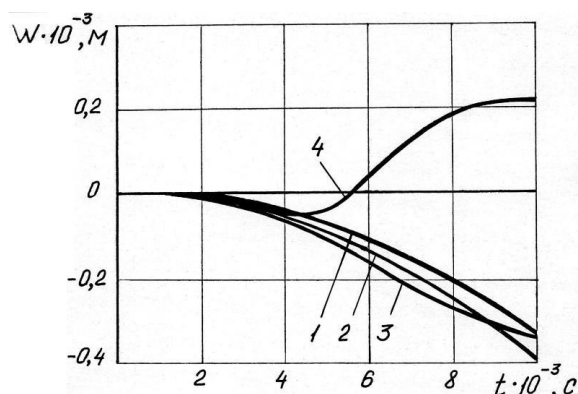
Рис. 3. значення компоненти сили Лоренца

Із рис. 2, а випливає, що дія стороннього струму стає суттєвою, починаючи із значень струму порядку 5×10^5 (крива під номером 3), у випадку $|w/h|=1,2$. Порівнюючи рис. 2, а і рис. 2, б, встановлюємо, що для такого характеру механічного навантаження від'ємні значення J_2 впливають на пружний стан пластинки несуттєво в порівнянні з рівними за абсолютною величиною додатніми значеннями J_2 . Зазначимо також, що для обраної геометрії пластинки є точка $x = 0,375$, починаючи з якої вигин w залежить лише від механічного навантаження і не залежить від стороннього струму. Такий характер вигину підтверджується даними нормальної складової масової електромагнітної сили, представленими на рис. 3, номери кривих відповідають значенням $J_2 = \{0,5 \times 10^6; 2,5 \times 10^6; 4,0 \times 10^6; 4,5 \times 10^6; 5,0 \times 10^6\}$, зі зростанням J_2 стає суттєвим вплив компоненти сили Лоренца ρf_3 , яка входить у рівняння (6) з від'ємним знаком.

Досліджуючи залежності $w = w(t)$ на лівому контурі пластинки для тих же значень струму J_2 , що і для рис. 2, можна зробити оцінювання впливу величини і знака J_2 на процес коливання рис. 4.



а



б

Рис. 4. Значення вигину залежно від часу

Зазначимо, що із збільшенням абсолютних значень J_2 період коливань зменшується, а амплітуда зростає.

Висновки і пропозиції. Таким чином, можна зробити висновок: для вигинів, сумірних із товщиною панелі, значення складових власного магнітного поля великі і мають суттєвий вплив на пружно-деформований стан панелі. 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 О. О. Один з підходів до розв'язку нелінійної задачі про рух довгої прямокутної пластинки в нестационарному магнітному полі / О. О. Балюнов // Вісник Київського університету. – 1989. – Вип. 31. – С. 3-6.
3. Беллман Р. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи / Р. Беллман, Р. Калаба. – М. : Мир, 1968. – 184 с.
4. 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.
5. Григоренко Я. М. Решение нелинейных задач теории оболочек на ЭВМ / Я. М. Григоренко, А. П. Мукоед. – К. : Вища школа, 1984. – 286 с.
6. Мольченко Л. В. Магнитоупругость нелинейных токнесущих оболочек / Л. В. Мольченко // Новое в науке и технике. Магнитоупругость нелинейных токнесущих оболочек и газодинамика струйных течений. – К. : Вища школа, 1989. – Вип. 8. – С. 3-60.
7. Мольченко Л. В. Математические основы магнитоупругости теории оболочек / Л. В. Мольченко. – К., 1988. – 48 с. – (препринт/АН УССР. Институт математики: 88.47).
8. Мольченко Л. В. Численное решение нелинейной задачи о движении длинной прямоугольной пластинки в переменном магнитном поле / Л. В. Мольченко, О. О. Балюнов // Вычислительная и прикладная математика. – 1990. – Вип. 72. – С. 43-49.
9. Улітко А. Ф. Магнітопружність при динамічному навантаженні / А. Ф. Улітко, Л. В. Мольченко, В. Ф. Ковальчук. – К., 1994. – 155 с.

УДК 620.179:534.6

О.П. Космач, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПІД ЧАС ТЕРТЯ ПОВЕРХОНЬ З КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

А.П. Космач, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ТРЕНИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Oleksandr Kosmach, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

CLUSTER ANALYSIS OF ACOUSTIC EMISSION SIGNALS PARAMETERS IN FRICTION OF COMPOSITE MATERIALS SURFACES

Представлено результати статистичного аналізу амплітудних та енергетичних параметрів результуючих сигналів акустичної емісії, які формуються під час тертя поверхонь із композиційних матеріалів в умовах зміни швидкості обертання пари тертя, а також величини прикладеного навантаження до поверхонь фрикційного контакту. Показано, що кластерний аналіз дозволяє виявити групи параметрів (кластерів) результуючих сигналів акустичної емісії, які відповідають їх різній інформативності до процесів, що виникають у процесі тертя поверхонь із компо-

зиційних матеріалів. Показано, що амплітудні параметри сигналу акустичної емісії мають суттєву відмінність в інформативності серед всіх проаналізованих амплітудно-енергетичних параметрів сигналів акустичної емісії.

Ключові слова: акустична емісія, дисперсія, енергія, композиційний матеріал, тертя, кластер, параметр.

Представлены результаты статистического анализа амплитудных и энергетических параметров результирующих сигналов акустической эмиссии, которые формируются при трении поверхностей из композиционных материалов в условиях изменения скорости вращения пары трения и величины приложенной нагрузки к поверхностям фрикционного контакта. Показано, что кластерный анализ позволяет определить группы параметров (кластеров) результирующих сигналов акустической эмиссии, которые соответствуют их различной информативности к процессам, которые возникают при трении поверхностей из композиционных материалов. Показано, что амплитудные параметры сигнала акустической эмиссии имеют существенное отличие в информативности среди всех проанализированных амплитудно-энергетических параметров сигналов акустической эмиссии.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, дисперсия, энергия, композиционный материал, трение, кластер, параметр.

The results of statistical analysis of amplitude and energy parameters of resultant acoustic emission signals that are formed in friction surfaces of composite materials at change of rotation speed of friction pair and applied load to the surface frictional contact were presented. It is shown that cluster analysis can identify groups of parameters (clusters) of resultant acoustic emission signals that correspond to informativeness of various processes which were occurred in friction surfaces of composite materials. It is shown that the signal amplitude of acoustic emission have significant differences in informativeness among all analyzed amplitude and energy parameters of acoustic emission signals.

Key words: acoustic emission, variance, energy, composite material, friction, cluster, parameter.

Постановка проблеми. Питанням використання та дослідження композиційних матеріалів (КМ) як виконавчих поверхонь вузлів тертя приділяється підвищена увага в науково-технічній літературі. Основні дослідження направлені як на оптимізацію вибору типів КМ, так і на оптимізацію режимів роботи самого вузла тертя для мінімізації спрацювання його основних елементів. Результати експериментальних досліджень показують, що використання КМ як основних поверхонь вузлів тертя дозволяє поліпшити трибологічні характеристики фрикційного контакту та суттєво підвищити термін експлуатації від декількох до десятків разів. Однак при цьому є проблема контролю та діагностики стану таких вузлів тертя, що обумовлено як специфікою будови, так і особливостями процесів зношування та руйнування мікрооб'єктів КМ. Результати багатьох експериментальних досліджень показують, що використання традиційних методів контролю, в основі яких лежить визначення миттєвого зростання моменту тертя, сили тертя, коефіцієнта тертя, дозволяє виявляти розвиток макропроцесів зношування та руйнування поверхневих шарів матеріалів фрикційного контакту. Використання таких методів контролю передбачає фіксацію прискореного переходу зі стадії нормального до стадії катастрофічного зношування, коли настає повна втрата працездатності вузла тертя. Врахування цих обставин можливе лише при фіксації мікропроцесів, які є поштовхом для розвитку процесів зношування поверхневих шарів фрикційного контакту і є початковими етапами зародження необоротного руйнування шарів КМ.

За останні роки у ході дослідження процесів тертя та зношування поверхонь фрикційного контакту з традиційних матеріалів (з кристалічною структурою) та КМ використовуються нетрадиційні методи, які мають високу чутливість до мікропроцесів, що розвиваються. До одного з таких прогресивних методів відноситься метод акустичної емісії (АЕ). Експериментальні дослідження показують, що формовані сигнали АЕ є миттєвим відображенням кінетики процесів, які розвиваються на субмікро-, мікро- та макрорівнях. Послідовний акселераційний розвиток таких процесів приводить до видозміни акустичного випромінювання та його основних параметрів. Тому виникає необхідність врахування таких особливостей під час розроблення методів контролю та діагностики стану вузлів тертя, включаючи і вузли тертя з робочими поверхнями з КМ. Слід зазначити, що мала інерційність та висока чутливість методу АЕ потребує встановлення стійких достовірних зв'язків між параметрами акустичного випромінювання та характеристиками процесів, які розвиваються. Розв'язання цієї проблеми повинно ґрунтуватися як на теоретичних, так і експериментальних дослідженнях. Такі дослідження дозволяють визначати закономірності основних параметрів акустичного випромінювання при дії різних факторів. Визначені подібні закономірності є основою під час роз-

роблення методів контролю та діагностики вузлів тертя з КМ. Експлуатаційні показники вузла тертя є одними з головних показників, які суттєво впливають на процеси тертя та зношування, а отже і на АЕ. До таких показників відносять навантаження, яке виникає на поверхнях фрикційного контакту, а також швидкість обертання пари тертя, яка характеризує динаміку процесу тертя, а також швидкість зміни елементарних площадок контактної взаємодії. Дослідження зміни основних параметрів акустичного випромінювання, а також визначення найбільш інформативних параметрів формованих сигналів АЕ при окремій та одночасній зміні даних експлуатаційних показників вузла тертя із КМ, безумовно, становить як науковий, так і практичний інтерес.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та експериментальні дослідження сигналів АЕ під час тертя поверхонь фрикційних матеріалів розглянуті в роботах [1–3]. Вони стосуються матеріалів з різною структурою. Модель результуючого сигналу АЕ, який формується у процесі тертя поверхонь для матеріалів з традиційною структурою, розглянута в роботі [4], а для КМ – у роботі [5]. Розроблені моделі ґрунтуються на закономірностях руйнування поверхневих шарів матеріалів з врахуванням кінетики самого процесу руйнування, а також швидкості його зростання в часі. Відмінність у моделях полягає у врахуванні специфіки самого процесу руйнування мікроелементів КМ. У першому випадку розглядається руйнування вторинних структур I та II типу, а у другому випадку модель ґрунтується на концепції FBM (fibre bundle model), а також кінетичних закономірностях руйнування елементів КМ [6; 7], коли руйнування поверхневого шару КМ розглядається як процес послідовного руйнування її мікроскопічних виступів у площадках контактної взаємодії випробувальних зразків. Аналітичний вираз, який описує результуючий сигнал АЕ, що формується під час руйнування поверхонь фрикційного контакту із КМ [8; 9], має вигляд

$$U_p(t) = \sum_j U_j(t_j), \quad (1)$$

де j – порядковий номер j -ої зруйнованої площадки контактної взаємодії; U_j – j -ий імпульсний сигнал АЕ, який формується на j -ій площадці контактної взаємодії поверхонь (рис. 1).

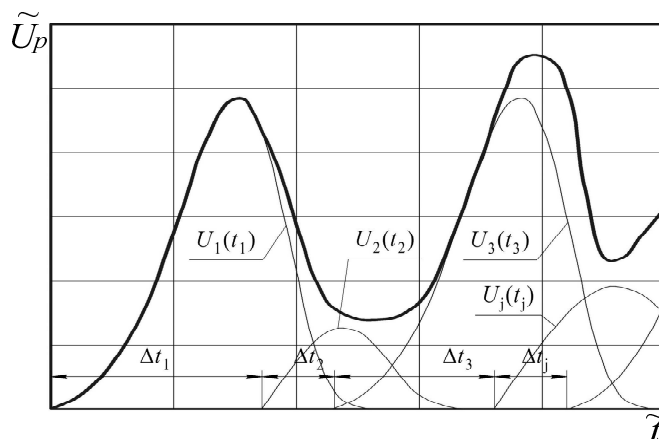


Рис. 1. Результуючий сигнал акустичної емісії в часі, згідно з (1) у відносних одиницях, який формується під час тертя поверхонь із композиційних матеріалів

Результати експериментальних досліджень показують складний характер зміни параметрів реєстрованих сигналів АЕ на різних стадіях розвитку процесу тертя та зношування. Така видозміна акустичного випромінювання свідчить про малу інерційність методу, а також його високу чутливість до мікропроцесів, які розвиваються в поверхневих шарах КМ. Однак інтерпретація цих процесів є достатньо складним завданням, що обумовлено складністю теоретичних досліджень, а також складністю експерименталь-

них випробувань. Ця проблема, безумовно, не дозволяє повною мірою реалізувати можливості методу АЕ в контролі та діагностиці вузлів тертя з інтерпретацією процесів, які розвиваються в поверхневих шарах КМ.

Проведені експериментальні дослідження [10; 11] показали, що у процесі тертя поверхонь з КМ формуються безперервні сигнали АЕ, які мають сильно порізану форму. При цьому було показано, що експлуатаційні показники вузла тертя впливають на параметри формованого сигналу АЕ. При зростанні швидкості обертання пари тертя спостерігається зростання середнього рівня амплітуди та енергії результуючого сигналу АЕ, а також величини їх розкиду на заданому інтервалі дослідження. При зростанні контактного навантаження на поверхнях тертя також спостерігається зростання середнього рівня амплітуди та енергії результуючого сигналу АЕ, а також величини її розкиду. Проте приріст значень параметрів формованого сигналу АЕ для даного виду навантаження значно менший.

Аналізовані параметри сигналу АЕ, такі як середній рівень амплітуди, усередненої та сумарної енергії результуючого сигналу АЕ, величини їх дисперсій та стандартних відхилень, безумовно, можуть використовуватися як інформативні параметри. Проте з метою уточнення параметрів формованих сигналів АЕ, а також обмеження кількості використовуваних параметрів виникає необхідність виявлення групи амплітудно-енергетичних параметрів, яка має стійкі достовірні зв'язки з процесами тертя та зношування поверхонь фрикційного контакту. З цією метою використовуються різноманітні статистичні методи дослідження формованого результуючого сигналу, зокрема кластерний аналіз.

Термін кластерний аналіз включає в себе набір багатьох алгоритмів класифікації, які дозволяють розподілити досліджувані об'єкти за кластерами. Основною перевагою цього аналізу полягає в наочній організації структури даних спостереження. Слід зазначити, що кластерний аналіз визначає найбільш можливо значиме рішення. Тому перевірка статистичної значимості в цьому разі не завжди можлива, навіть у випадках, коли відомі p – рівні.

Основний алгоритм кластерного аналізу полягає в об'єднанні об'єктів у досить великі кластери, використовуючи при цьому деяку міру подібності або відстань між об'єктами. Типовим результатом такої кластеризації є ієрархічне дерево. Метод „деревоподібної кластеризації” використовується у процесі формування кластерів незбіжності або відстані між об'єктами. Найбільш прямий шлях обчислення відстаней між об'єктами в багатовимірному просторі полягає в обчисленні евклідових відстаней або його значення в квадраті, відстані міських кварталів, відстані Чебишева, степеневій відстані, а також відсотка незгоди.

При об'єднанні двох кластерів між собою можливі деякі різні варіанти опрацювання. Найбільш розповсюджений варіант можливий, коли два будь-які об'єкти у двох кластерах ближчі один до одного, ніж відповідна відстань зв'язку. Цей метод отримав назву “правило найближчого сусіда” або метод “одиначного зв'язку”. Це правило будує “волокнисті кластери”, тобто елементи, які опинилися ближче інших один до одного. Як альтернативу можуть використовуватися сусіди у кластерах, які знаходяться далі всіх інших пар об'єктів один від одного. Цей метод називається метод “повного зв'язку”. Повний зв'язок (метод “найбільш віддалених сусідів”) дозволяє визначити відстані між кластерами з найбільшою відстанню між будь-якими двома об'єктами в різних кластерах. Метод “незваженого попарного середнього” дозволяє обчислити відстань між двома різними кластерами як середня відстань між усіма парами об'єктів в них. Метод “зваженого попарного середнього” ідентичний методу “незваженого попарного середнього”, за винятком того, що при обчисленнях розмір відповідних кластерів, тобто число об'єктів, що містяться в них, використовується як ваговий коефіцієнт.

ент. “Незважений центроїдний” метод дозволяє визначити відстань між двома кластерами як відстань між їх центрами ваги. “Зважений центроїдний” метод (медіана) є ідентичним попередньому, за винятком того, що під час обчислень використовуються ваги для обліку різниці між розмірами кластерів. Використання цих методів дозволяє всебічно проаналізувати найбільш розповсюджені амплітудні та енергетичні параметри сигналів АЕ, які формуються у процесі тертя поверхонь із КМ. Це дозволяє визначити найбільш інформативні та неінформативні групи параметрів, які відповідають процесам, що протікають при зміні експлуатаційних режимів пари тертя з КМ, зокрема при зміні швидкості її обертання та навантаження поверхонь фрикційного контакту.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З метою уточнення інформативних параметрів формованих сигналів АЕ, а також обмеження кількості використовуваних параметрів під час дослідження процесів тертя із КМ виникає необхідність виявлення груп амплітудно-енергетичних параметрів, які мають достовірні зв'язки з процесами тертя та зношування поверхонь фрикційного контакту із КМ. Використання кластерного аналізу, а також його основних методів дозволяє об'єднати параметри результатуючих сигналів АЕ за такими ознаками, як найбільша віддаленість параметрів один від одного, найбільша близькість, усереднена відстань, тобто дозволяє оцінити параметри результатуючих сигналів АЕ з погляду інформативності до процесів, які виникають під час тертя поверхонь із КМ в умовах зміни експлуатаційних режимів навантаження пари тертя.

Мета статті. У роботі буде проведено кластерний аналіз амплітудно-енергетичних параметрів результатуючих сигналів АЕ, які формуються у процесі тертя поверхонь із КМ, з урахуванням одночасної зміни величини прикладеного навантаження та швидкості обертання пари тертя. Буде показано, що кластерний аналіз дозволяє виявити групи параметрів (кластерів) результатуючих сигналів АЕ, які відповідають їх різній інформативності до процесів, що виникають під час тертя поверхонь із композиційних матеріалів. Буде показано, що амплітудні параметри сигналу АЕ мають суттєву відмінність в інформативності серед всіх проаналізованих амплітудно-енергетичних параметрів сигналів АЕ.

Виклад основного матеріалу. Результати теоретичних та експериментальних досліджень [10; 11] показують, що при зміні швидкості обертання пари тертя із КМ та величини прикладеного навантаження відбувається зміна еквівалентних напружень, а також взаємопов'язаних механічних параметрів, таких як момент обертання, момент тертя, сила тертя тощо. Така зміна механічних параметрів вузла тертя із КМ, безумовно, призводить і до зміни амплітудних та енергетичних параметрів формованих сигналів АЕ. Як досліджувані зразки використовувалися деталі типу втулка з алюмінієвого сплаву Д16 та легованої сталі 30ХГСА з робочими торцевими поверхнями, на яких було нанесено покриття на основі твердого сплаву ВК6. Дослідження АЕ випромінювання проводилося на стадії нормального зношування вузла тертя після закінчення стадії припрацювання. Випробування зразків здійснювалося з використанням конструктивної схеми взаємодії "диск-диск" на модернізованій випробувальній машині СМТ-1 з комп'ютеризованим управлінням. Відповідно до схеми випробування один із зразків (Д16 з покриттям ВК6) протягом експериментів залишався нерухомим, а інший зразок зі сталі 30ХГСА з покриттям ВК6 обертася із заданою швидкістю. Комп'ютеризоване управління забезпечувало як необхідну сталу швидкість обертання рухомого зразка, так і необхідне навантаження на нерухомий зразок. Швидкість обертання рухомого зразка протягом усіх випробувань змінювалася в межах $500 \dots 800 \text{ хв}^{-1}$ з приростом 100 хв^{-1} , при цьому експлуатаційне навантаження P змінювалось у діапазоні значень від $300 \dots 750 \text{ Н}$ з приростом 150 Н . Під час проведення експериментів як змащувальне середовище використовувалося масло типу М10Г2К, витрати якого становили $1,2 \text{ л/год}$.

Для реєстрації сигналів АЕ, які формуються у процесі тертя поверхонь випробовуваних зразків, використовувався датчик АЕ, який встановлювався на нерухомому зразку. Перед встановленням поверхня датчика змащувалася акусто-прозорою речовиною. З виходу датчика результуючі сигнали АЕ надходили в підсилювальний тракт, а потім у мобільний акусто-емісійний діагностичний комплекс, в якому проводилось їх подальше оброблення з формуванням і збереженням необхідних масивів даних. Як основні оброблювані параметри результуючих сигналів АЕ використовувалися: середній рівень амплітуди U , усередненої енергії E_U , сумарної енергії E_S ; стандартне відхилення амплітуди σ_U , усередненої енергії σ_{E_U} , сумарної енергії σ_{E_S} ; дисперсія амплітуди D_U , усередненої енергії D_{E_U} , сумарної енергії D_{E_S} . Результати оброблення можуть виводитися на екран монітора у вигляді графічних залежностей, а також перетворюватися у формати даних для математичних додатків під Windows.

Загальний алгоритм кластерного аналізу параметрів сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ, показано на рис. 2. Для проведення кластерного аналізу параметрів сигналів АЕ необхідно створення масиву даних, який включає показники навантаження пари тертя, зокрема швидкості обертання пари тертя та величини прикладеного навантаження, а також аналізовані амплітудні та енергетичні параметри сигналів АЕ. Стадія безпосереднього кластерного аналізу включає в себе вибір мір відстаней, вибір методів кластеризації, а також прийняття кількості кластерів, які підлягають виявленню. Завершальним етапом кластерного аналізу є оцінювання достовірності процесу кластеризації, тобто оцінювання відмінності кластерів між собою, яка була визначена за F -критерієм.

Всі досліджувані сигнали АЕ, які формуються при зміні експлуатаційних показників пари тертя із КМ, мають подібну порізану форму і відрізняються лише величинами середнього рівня та величиною розкиду. Формовані результуючі сигнали АЕ, показані на рис. 3, отримані для часу усереднення $t_u=15$ мс. Вибір значення часу усереднення t_u обумовлений необхідністю мінімізації втрат від вкладу складових процесів у результуючий сигнал АЕ [12; 13].

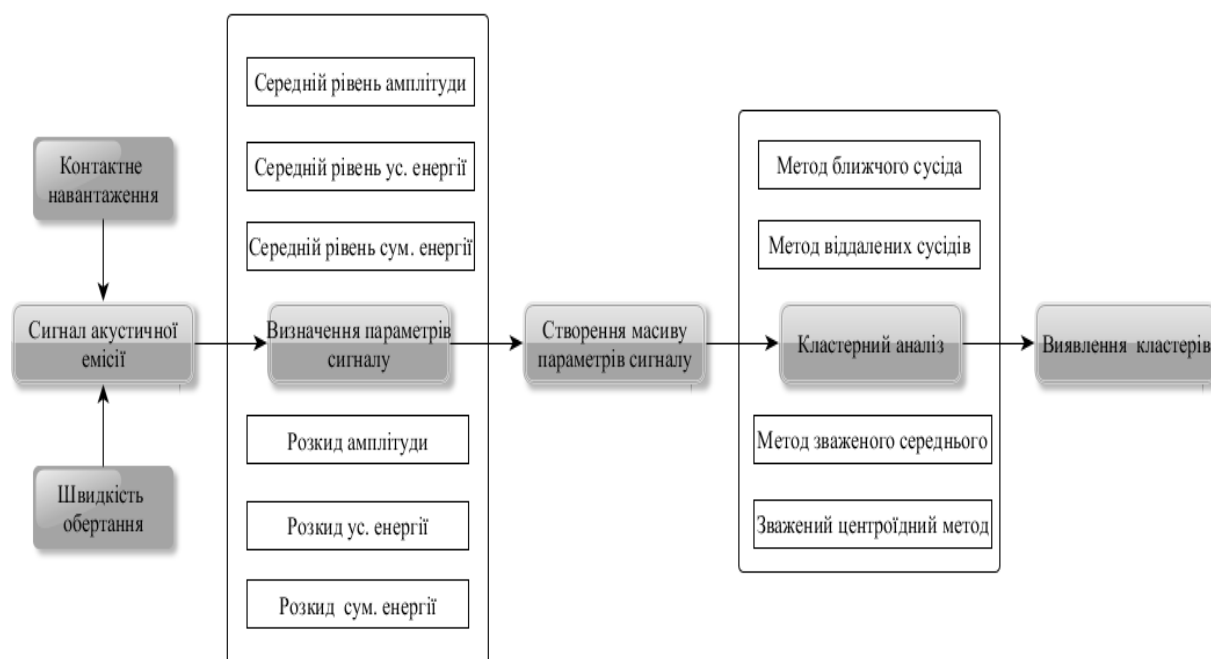


Рис. 2. Алгоритм кластерного аналізу основних параметрів формованих сигналів акустичної емісії у процесі випробування зразків із композиційних матеріалів

Проведені експериментальні дослідження показали, що результуючі сигнали АЕ, які зареєстровані при заданих значеннях навантаження та швидкості обертання пари тертя, являють собою безперервні сигнали з деякими середніми рівнями амплітуд, усереднених і сумарних енергій, а також величинами їх розкиду (рис. 3).

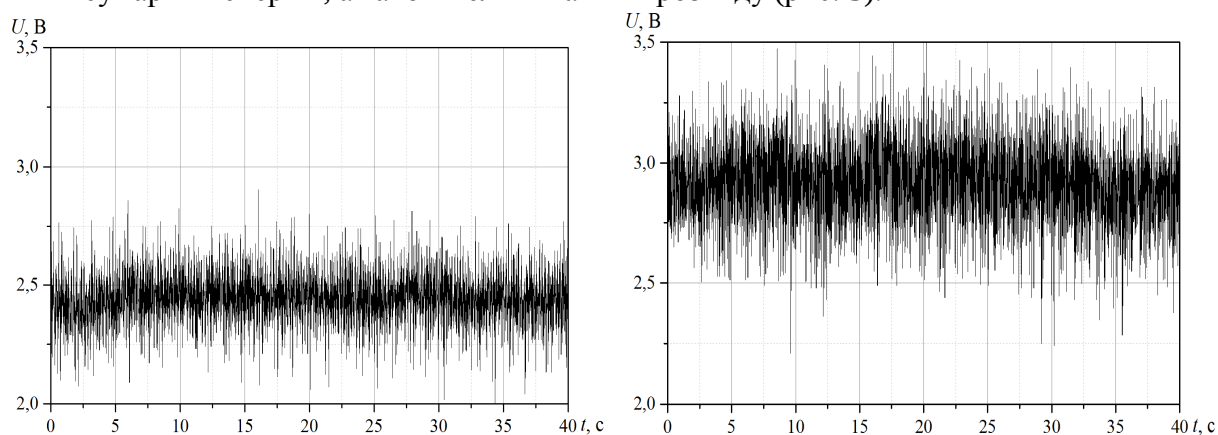


Рис. 3. Графіки зміни амплітуди результуючих сигналів акустичної емісії в часі, які зареєстровано під час випробувань на зношування пари тертя з покриттями із композиційних матеріалів марки ВК6 при різних значеннях прикладеного навантаження. Значення навантаження P : а – 300 Н; б – 750 Н. Час усереднення $t_u = 15$ мс

На рис. 4 показано дендрограму об'єднання амплітудних та енергетичних параметрів формованих сигналів АЕ, яку було отримано з використанням методу “найближчого сусіда”. З рис. 4 видно, що в результаті аналізу отримано два кластера, один з яких включає в себе E_U , E_S , σ_{E_S} , а другий кластер включає в себе D_{E_U} , D_{E_S} .

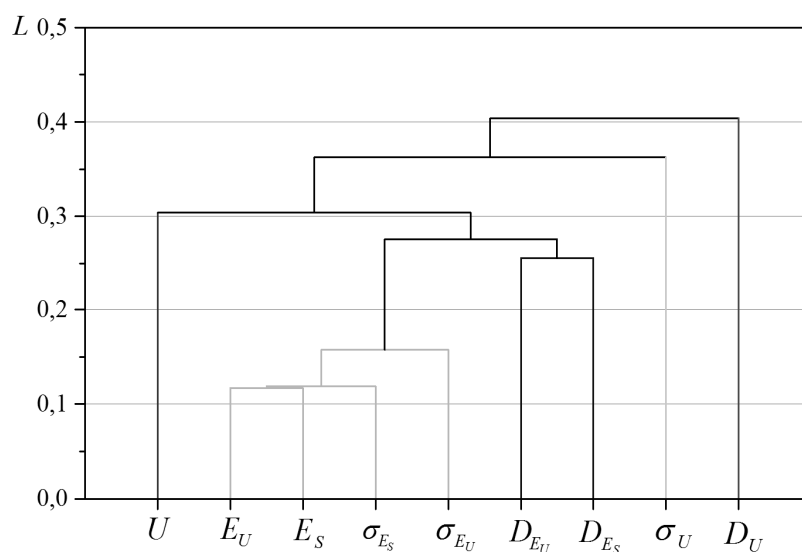


Рис. 4. Дендограма об'єднання амплітудно-енергетичних параметрів результуючого сигналу акустичної емісії, який формується під час тертя поверхонь із композиційного матеріалу згідно з методом “найближчого сусіда”

На першому кроці кластеризації відбувається об'єднання середнього рівня усередненої енергії E_U та сумарної E_S енергій результуючого сигналу АЕ, що добре узгоджується з фізичними уявленнями про процеси формування сигналу. На наступному кроці до цієї групи приєднується стандартне відхилення сумарної енергії σ_{E_S} сигналу АЕ. Метод “найближчого сусіда” дозволяє зробити висновок, що серед проаналізованих амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ, які виникають під час тертя поверхонь із КМ, формуються дві стійкі групи енергетичних параметрів (кластерів), які відповідають середньому рівню, а також величині розкиду, що характеризуються дисперсією.

З рис. 4 видно, що амплітудні параметри сигналу АЕ не утворюють жодних стійких груп, що свідчить про суттєву відмінність в інформативності цього параметра сигналу АЕ від проаналізованих енергетичних параметрів сигналу АЕ.

На рис. 5 показано дендрограму об'єднання амплітудних та енергетичних параметрів формованих сигналів АЕ, яку було отримано з використанням методу “віддалених сусідів”. З рис. 5 видно, що в результаті аналізу отримано три кластера, один з яких включає в себе U , E_U , E_S , другий кластер включає в себе σ_{E_S} , σ_{E_U} , D_{E_U} , D_{E_S} і третій кластер, який включає в себе σ_U , D_U . На першому кроці кластеризації відбувається об'єднання стандартних відхилень сумарної σ_{E_S} та усередненої σ_{E_U} енергій результуючих сигналів АЕ. На наступних кроках до цієї групи приєднуються дисперсії усередненої D_{E_U} та сумарної D_{E_S} енергій формованого результуючого сигналу АЕ. В подальшому відбувається об'єднання стандартного відхилення амплітуди σ_U та дисперсії амплітуди D_U результуючого сигналу АЕ. Після цього відбувається об'єднання середніх рівнів амплітуди U , усередненої E_U та сумарної E_S енергій формованого результуючого сигналу АЕ.

З рис. 5 видно, що параметри результуючого сигналу АЕ утворюють три стійких найвіддаленіших між собою групи, які характеризують середній рівень результуючого сигналу АЕ, величину розкиду енергетичних параметрів результуючого сигналу АЕ, а також величину розкиду амплітуди результуючого сигналу АЕ. Результати досліджень, які проведено раніше, а також використання методу “віддалених сусідів” дозволяють зробити висновок про те, що є суттєва відмінність в інформативності параметрів, які характеризують середній рівень амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ, а також параметрів, які характеризують величину розкиду енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ. Отримані результати добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень результуючих сигналів АЕ, які було отримано в [12; 13].

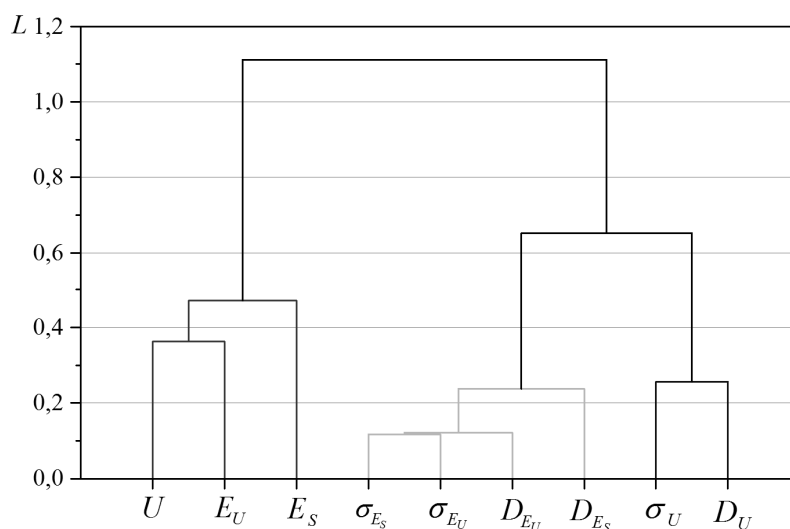


Рис. 5. Дендрограма об'єднання амплітудно-енергетичних параметрів результуючого сигналу акустичної емісії, який формується під час тертя поверхонь із композиційного матеріалу згідно з методом “віддалених сусідів”

Використані методи “найближчого сусіда” та “віддалених сусідів” дозволяють зробити висновок про те, що серед проаналізованих амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ, найбільшу інформативність мають енергетичні параметри формованих результуючих сигналів АЕ, зокрема дисперсії усередненої та сумарної енергій результуючих сигналів АЕ. Найменш інформативним параметром формованого сигналу АЕ виступають амплітудні параметри, зокрема середній рівень амплітуди результуючого сигналу АЕ.

Аналогічні результати було отримано при використанні “медіанного” методу. Серед проаналізованих амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ утворюються дві стійких групи, які характеризують середній рівень усередненої та сумарної енергій результуючого сигналу АЕ, а також величину розкиду енергетичних параметрів результуючого сигналу АЕ, що підтверджує різну інформативність цих параметрів результуючих сигналів АЕ. Як і при попередніх дослідженнях, амплітудні параметри не входять до груп енергетичних параметрів, що підтверджує їх низьку інформативність до процесів, які виникають під час тертя поверхонь із КМ.

Перевірка відмінності груп кластерів між собою для всіх використаних методів здійснювалася з використанням дисперсійного аналізу (F -критерію). Рівень значимості для всіх груп кластерів зі ступенем вільності $k=3$ був високий та становив у межах 10...18, тобто всі значення F -критерію значимі. Дисперсійний аналіз показав, що всі групи виявлених кластерів є критеріями інформативності параметрів результуючих сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ.

Результати досліджень показали, що амплітудно-енергетичні параметри результуючого сигналу АЕ можна розділити на групи інформативних та неінформативних параметрів з використанням кластерного аналізу. В свою чергу енергетичні параметри мають найбільшу інформативність серед проаналізованої групи параметрів результуючих сигналів АЕ. При цьому дисперсії усередненої та сумарної енергії результуючого сигналу АЕ мають найбільшу інформативність серед всіх проаналізованих амплітудних та енергетичних параметрів формованих сигналів АЕ. Це означає, що в реальному експерименті при зміні експлуатаційних умов навантаження пари тертя з КМ найбільша зміна значень буде спостерігатись саме в дисперсії усередненої та сумарної енергії формованого результуючого сигналу АЕ. При цьому кластерний аналіз дозволяє суттєво зменшити кількість аналізованих параметрів формованих результуючих сигналів АЕ з 9 початкових до 2 кінцевих, що значно спрощує математичний апарат, який закладається у процесі оброблення формованих результуючих сигналів АЕ.

Висновки і пропозиції. Проведено кластерний аналіз амплітудних та енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ в умовах зміни експлуатаційних умов навантаження, які характеризуються зміною швидкості обертання пари тертя, а також величини прикладеного навантаження до поверхонь фрикційного контакту. Отримані результати показали, що при кластерному аналізі утворюються групи амплітудних та енергетичних параметрів (кластери) результуючих сигналів АЕ.

Використання методу “найближчого сусіда” дозволяє зробити висновок, що серед проаналізованих амплітудно-енергетичних параметрів сигналів АЕ, які формуються при терті поверхонь із КМ, утворюються дві групи енергетичних параметрів (кластерів), які характеризують середній рівень, а також величину розкиду, що характеризується дисперсією. При цьому амплітудні параметри сигналу АЕ не утворюють жодних груп параметрів, що свідчить про суттєву відмінність в інформативності цього параметра сигналу АЕ від проаналізованих енергетичних параметрів сигналу АЕ. Використання методу “віддалених сусідів” дозволяє зробити висновок про те, що є суттєва відмінність в інформативності параметрів, які характеризують середній рівень амплітудних та енергетичних параметрів сигналів АЕ, а також параметрів, які характеризують величину розкиду енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ. Найбільшу інформативність у цьому випадку мають енергетичні параметри формованих результуючих сигналів АЕ, зокрема дисперсії усередненої та сумарної енергії результуючих сигналів АЕ, а найменшу інформативність мають амплітудні параметри, зокрема середній рівень амплітуди результуючого сигналу АЕ.

Використання кластерного аналізу дозволяє суттєво зменшити кількість аналізованих параметрів результуючих сигналів АЕ, які формуються під час тертя поверхонь із КМ. Для дослідження процесів, які виникають при зміні експлуатаційних режимів навантаження пари тертя із КМ, слід проводити аналіз дисперсії усередненої та сумарної енергій результуючих сигналів АЕ. У зв'язку з усередненням значень енергетичних параметрів результуючих сигналів АЕ найбільшої зміни значень слід очікувати саме в дисперсії сумарної енергії результуючого сигналу АЕ. Проте для аналізу процесів, які виникають у процесі тертя поверхонь із КМ можуть використовуватися і інші параметри формованих сигналів АЕ, наприклад, такі як амплітудно-частотні, потужність та ін.

Перспективним та актуальним напрямком як експериментальних, так і теоретичних дослідження є аналіз енергетичних параметрів результуючого сигналу АЕ, який формується при катастрофічному зношуванні поверхонь фрикційного контакту із КМ, а також дослідження стадій, які відповідають початку зародження процесів підвищеного зношування поверхонь.

Список використаних джерел

1. Study on stick-slip friction of reciprocating o-ring seals using acoustic emission techniques / C. Liao; S. Suo, Y. Wang, W. Huang, Y. Liu // Tribology transactions. – 2012. – Vol. 55. – № 1. – P. 43-51.
2. Tribological properties of copper alloy-based composites reinforced with tungsten carbide particles / E. Hong, B. Kaplin, T. You, M. Suh, Y. S. Kim, H. Choe // Wear. – 2011. – Vol. 270. – P. 591-597.
3. Rubtsov V. E. The use of acoustic emission analysis for the wear in sliding friction / V. E. Rubtsov, A. V. Kolubaev, V. L. Popov // Letters to ZHTF. – 2013. – Vol. 4. – P. 79-86.
4. Filonenko S. F. Modeling of the acoustic emission signals for the case of material's surface layers distraction in the process of friction / S. F. Filonenko; A. P. Stahova; T. N. Kositskaya // Proceedings of the National aviation university. – 2008. – № 2. – P. 24-28.
5. Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы / С. Ф. Филоненко, В. М. Калита, Т. Н. Косицкая, А. П. Космач // Технологические системы. – 2010. – № 2. – С. 23-32.
6. Філоненко С. Ф. Моделювання сигналів акустичної емісії при руйнуванні композиційних матеріалів під дією поперечної сили / С. Ф. Філоненко, Т. М. Косицька, О. П. Космач // Вісник Національного авіаційного університету. – 2010. – № 2. – С. 95-103.
7. Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы / С. Ф. Филоненко, В. М. Калита, А. П. Космач, Т. Н. Косицкая // Технологические системы. – 2010. – № 2(51). – С. 45-53.
8. Філоненко С. Ф. Модель сигнала акустичної емісії при терті поверхонь композиційних матеріалів / С. Ф. Філоненко, Т. М. Косицька, О. П. Космач // Нукоємні технології. – 2010. – № 2(6). – С. 30-38.
9. Filonenko S. Impact of rotational speed of composite friction pair on energy accumulation in acoustic emission signal formation / S. Filonenko, A. Kosmach. Aviation. – 2013. – Vol. 17. – № 4. – P. 129-136.
10. Филоненко С. Ф. Влияние эксплуатационной нагрузки на акустическую эмиссию при трении композиционных материалов / С. Ф. Филоненко, А. П. Космач // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 4(53). – С. 125-133.
11. Дослідження кінетики мікроструктурних перетворень контактної зони тертя під впливом мастильного матеріалу / М. П. Цаплій, О. П. Космач, Ю. В. Велігорська, О. О. Міщук // Вісник Інженерної академії України. – 2012. – № 3-4. – С. 140-144.
12. Филоненко С. Ф. Закономерности изменения энергии сигналов акустической эмиссии при трении поверхностей из композиционных материалов / С. Ф. Филоненко, Т. М. Косицкая, О. П. Космач // Вісник Інженерної академії України. – 2011. – № 1. – С. 155-161.
13. Филоненко С. Ф. Влияние эксплуатационной нагрузки на акустическую эмиссию при трении композиционных материалов / С. Ф. Филоненко, А. П. Космач // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 4. – С. 125-133.

УДК 658.512.23.012

Б.И. Черников, канд. техн. наук**В.С. Волик**, ассистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ГЕОМЕТРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СВЕТОВЫХ БЛИКОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕХНИЧЕСКИХ ФОРМ

Б.І. Черніков, канд. техн. наук**В.С. Волик**, асистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ГЕОМЕТРИЯ УТВОРЕННЯ СВІТЛОВИХ ВІДБЛИСКІВ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕХНІЧНИХ ФОРМ

Boris Chernikov, PhD in Technical Sciences**Viktor Volik**, assistant

Chernigov National Technology University, Chernigov, Ukraine

GEOMETRY OF LIGHT REFLECTION ON TECHNICAL FORMS SURFACES

Представлены обобщенные результаты исследований по определению светотеневой структуры поверхности. Показана геометрия образования отражений (световых бликов) при моделировании поверхностей технических форм. Изложен подход к практическому построению отражений на сложной криволинейной поверхности.

Ключевые слова: блик, свет, техническая форма, тень, формообразование.

Представлено узагальнені результати досліджень за визначенням світлотінєвої структури поверхні. Показано геометрію утворення відображень (світлових відблисків) під час моделювання поверхонь технічних форм. Наведено підхід до практичної побудови відблисків на складній криволінійній поверхні.

Ключові слова: відблиск, світло, технічна форма, тінь, формоутворення.

The results of studies to determine the cut-off of the surface structure are summarized. The geometry of the formation of reflections (glare of light) in the modeling of surfaces technical forms showing. An approach to the practical construction of reflections on the complex curved surface is described.

Key words: light, modeling of surfaces, reflection, shadow, technical form.

Постановка проблемы. Весь предметный мир мы воспринимаем с помощью света. Поэтому, разрабатывая объемно-пространственные композиции, необходимо умело использовать функционально-эстетические возможности светораспределения на поверхности.

При разработке сложных поверхностей в процессе художественного конструирования нельзя не учитывать влияния световых бликов. Основное внимание при этом необходимо акцентировать на соблюдении закономерностей в геометрическом построении сложных поверхностей, ибо здесь световой блик служит самым строгим контролером. Объект становится особенно рельефным и выразительным, когда он оптимально освещен, только тогда тени и блики связывают воедино все элементы формы. Методы разработки сложных поверхностей по существу связаны с распределением на них света и тени с учетом поведения световых бликов.

Особенно велико значение светового блика для изделий со сложными криволинейными поверхностями. Переходя по образующим поверхности, он подчеркивает и выявляет особенности рельефа, обозначает кромки в местах примыкания различных деталей. Когда блик сбивается, становится неровным, меняет свои очертания, пересекает контуры поверхности, форма смотрится мятой, строгость и четкость линий исчезает. Природа деформации светового блика может быть различной. Чаще всего нарушение линии блика – следствие нарушения геометрической основы формы.

Хорошим примером для демонстрации бликов является легковой автомобиль. В вечернее и ночное время, когда контуры кузова мало заметны или не видны – на первый план выходят блики (рис. 1). Именно блики в этом случае подчеркивают динамику и пластику формы, создают эффект выразительности формы. С помощью бликов мы "читаем" форму, определяя, насколько она выразительна и современна.

Формы легковых автомобилей стали настолько изысканы, переходы формообразующих линий настолько сложны и разнообразны, что малейшая неточность в построении

формы – нарушение ее геометрии – будет обнажена светом. Форма, найденная без строгого учета распределения света и тени, может оказаться ложной из-за появления бликов в тех местах, которые нежелательно выявлять. Поэтому лучшие автомобильные модельеры тщательно работают над светотеневой структурой, проверяя пластику кузова "на свет".



Рис. 1. Примеры образования светотени на поверхности корпусных деталей автомобиля

Еще одно применение бликов – проверка качества окраски поверхностей. Все дефекты поверхности легко обнаружить с помощью света путем визуального наблюдения за поведением блика.

В процессе формообразования могут возникнуть задачи, связанные с устранением бликов с поверхности. Это те случаи, когда световой блик ослепляет оператора и создает визуальные помехи в работе.

Анализ последних исследований и публикаций. Дизайн поверхностей технических форм начинается с рисунка. Дизайнер, полагаясь на свой опыт и интуицию, задает обводы и показывает светотеневую структуру поверхности. Действительное появление тени и бликов на поверхности можно проверить только на модели.

Чтобы предварительно оценить форму и место появления блика следует проанализировать геометрию поверхности и найти те закономерности, которые связаны с образованием отражений. Такой анализ можно провести на примерах простых поверхностей.

В каждой точке криволинейной поверхности существует два перпендикулярных направления l_1 и l_2 (рис. 2), в которых нормальная кривизна* принимает минимальные и максимальные значения [1]. Эти направления называются главными. Исключение составляет случай, когда нормальная кривизна по всем направлениям одинакова (например, у сферы), тогда все направления в точке – главные. Нормальные кривизны в главных направлениях называют главными кривизнами. Именно главные кривизны определяют форму и размеры светового блика. Если принять, что блик на поверхности это видимое отражение источника света, то можно определить некоторые закономерности в построении отражений. Так, луч падающий SA (рис. 3), отраженный AC и нормаль N будут принадлежать одной плоскости. Свет от источника к наблюдателю идет через отражение кратчайшим путем (закон сохранения энергии).

Поведение светового блика на поверхности с учетом главной кривизны можно показать на примере гладкого цилиндра. Цилиндр, одна главная кривизна – нулевая (в продольном осевом сечении), другая (в поперечном) – обратный радиус. В случае удаленного источника света на цилиндре увидим полосу света, совпадающую с направлением одной прямолинейной образующей [2]. Если источник света – окружность, то на боковой поверхности цилиндра наблюдатель увидит отражение в форме эллипса, большая ось ко-

* Для разных направлений в заданной точке поверхности получается разная кривизна нормального сечения, которая называется нормальной кривизной.

торого совпадает с направлением нулевой кривизны. Ориентация эллипса привязана к главной кривизне поверхности, в чем можно убедиться, если поворачивать цилиндр относительно источника света. Исключение может иметь место, когда на поверхности цилиндра имеется шероховатость, которая искажает форму и размеры блика [2].

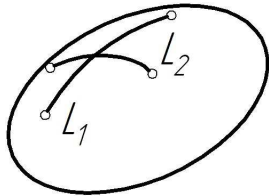


Рис. 2. Схема расположения главных кривизн на поверхности эллипсоида

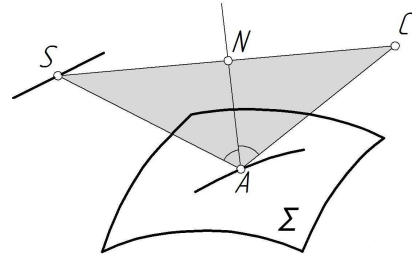


Рис. 3. Схема определения отражения точки S на поверхности Σ при заданной точке зрения C

Те же замечания справедливы для поверхности конуса, где световой блик так же совпадает по направлению с прямолинейной образующей поверхности.

Экспериментально замечено, что световой блик на составных поверхностях (конусы и цилиндры) проходит по всем поверхностям без разрывов, а тени при переходе с одной поверхности на другую имеют разрыв (скачок).

Изложенное относится больше к рисованию поверхности. В промышленных условиях следует использовать компьютерную графику. В статье дана краткая характеристика некоторых графических пакетов для построения светотени на 3D-модели, которые содержат специальные средства создания фотореалистичного изображения. Средства фотореалистики позволяют оценить внешний вид изделия, максимально приближенный к реальному, без изготовления дорогих макетов и прототипов.

Среди наиболее распространенных систем трехмерного моделирования из можно выделить такие программные продукты, как SolidWorks компании Dassault Systemes, Inventor компании Autodesk, КОМПАС-3D ЗАО "Аскон", T-Flex компании ЗАО "Топ Системы" и другие. Рассмотрим возможности каждого программного продукта, которые дают возможность задавать оптические свойства изделий.

Программа SolidWorks дает возможность задать ряд настроек для 3D-модели, среди которых [3]:

- Детализация. Руководит плотностью точек, которые собирают свет, и определяет, насколько явно видны быстрые изменения между светлыми и темными значениями.

- Точность. Изменяет расстояние между последовательными расчетами в точках, которые собирают свет. Увеличение близости точек увеличивает число расчетов. Это улучшает эффект фотореалистичности, но увеличивает время обработки.

- Отблеск. Определяет, сколько раз свет передается из одной поверхности на другую. При увеличении значения интенсивности отблеска распространяется больше света; слишком высокое значение приводит к смещению цветов.

Дополнительно в программе SolidWorks есть возможность использования модуля PhotoWorks, для которого можно задавать такие оптические свойства объектов:

- Указание источников рассеянного света, прожекторов, точечных и отдаленных источников.

- Простое управление тенями с учетом прозрачности объектов.

- Назначение и редактирование цвета и интенсивности любого источника света.

- Сохранение настроек света и тени в файле модели.

- Имитация реалистичных лучей света.

Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D дает возможность установки дополнительной библиотеки Artisan Rendering, созданной совместно с английской ком-

панией Lightworks [4]. Новое решение предназначено для создания фотореалистичных изображений машиностроительных изделий и строительных объектов, спроектированных в системе КОМПАС-3D V13 и выше.

Этот модуль включает библиотеку материалов и текстуры, источников пользователей света и теней, оптических свойств поверхностей изделия, обстановки и много чего другого.

Среди основных возможностей можно отметить:

- выбор соответствующих оптических характеристик материала для деталей и сборочных единиц;
- предыдущий пересмотр материалов и их параметров;
- настройка сцены и условий освещения;
- управление оптическими свойствами изделия, такими как тени, отблески и т. п.

Для программного продукта Autodesk Inventor возможности задания оптических свойств поверхностей изделия реализованы в среде визуализации и анимации деталей и сборочных единиц Inventor Studio [5]. Программа позволяет создавать фотореалистичные изображения. Кроме статичных изображений можно создавать анимацию, которая демонстрирует работу проекта. При создании изображений можно использовать стандартное освещение и стили сцены или определить собственные настройки. Существует возможность индивидуальных настроек освещения, цветов и стилей. Изменяя настройку, можно задать как внешнее окружение (источники и интенсивность света, цвет сцены), так и оптические свойства самого объекта проектирования – цвет, тени, отблески.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В литературных источниках, посвященных этой теме, даются очень краткие и осторожные сведения из области образования бликов. Чаще всего блики показывают на примерах готовых поверхностей, при этом ничего не сообщая о геометрии их образования. Известно только то, что формой и динамикой блика управляет кривизна поверхности [6]. Поэтому дальнейшее развитие этой тематики есть важным заданием современного художественного конструирования.

Цель данной статьи – показать геометрическую основу светового блика, как средство организации формы поверхности.

Изложение основного материала. В общем случае геометрию блика на поверхности можно связать с построением отражений. На практике построение тени и бликов происходит на завершающей стадии проектирования поверхности, когда выполняются следующие условия:

- 1) поверхность задана теоретически на чертеже;
- 2) определен алгоритм построения нормали в каждой точке поверхности;
- 3) известны координаты источника света и точки зрения.

Используя методы начертательной геометрии, можно строить форму блика, а также определить его местонахождение на поверхности. В качестве примера рассмотрим построение отражения прямых линий m и n на поверхности сферы при заданной точке зрения C (рис. 4). Построение ведем по отдельным точкам, принадлежащим указанным прямым, используя схему на рис. 3. Точка зрения задана на глубинной прямой, проходящей через центр сферы. Тогда точку C можно рассматривать как источник света и направлять через эту точку связку падающих лучей на сферу. На сфере связка падающих лучей расслаивается на плоские пучки, инцидентные плоскостям, проходящим через точку зрения и центр сферы. Отраженные лучи строим в плоскости экватора сферы. На горизонтальном очерке сферы произвольно выбираем точку A . Используя закон отражения, строим падающий AC и отраженный AS лучи (можно использовать огибающую отраженных лучей [7]).

Чтобы найти действительное отражение точки, принадлежащей прямой n , необходимо повернуть плоскость, в которой построен отраженный луч AS , вокруг оси CO до

совмещенного положения с проекцией прямой n_2 . Перемещение на горизонтальной проекции точки S происходит по прямой, перпендикулярной оси OC .

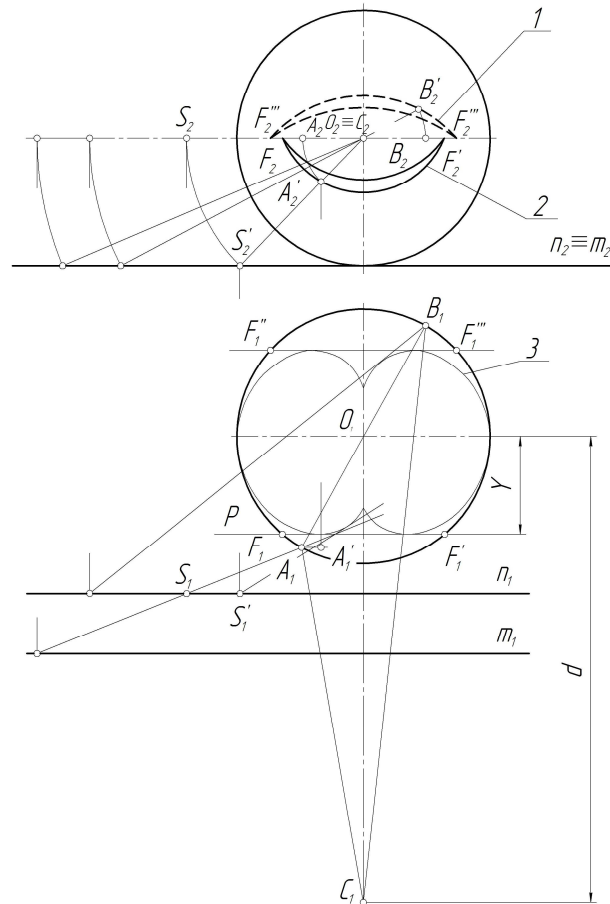


Рис. 4. Отражение прямых p и t на поверхности сферы: 1 – отражение на внутренней поверхности сферы; 2 – отражение на внешней поверхности сферы; 3 – огибающая отраженных лучей

Такая же схема построения предусмотрена для остальных точек прямых m и n , как показано на рис. 4. Отражение прямых построено как на выпуклой, так и на вогнутой частях поверхности.

Указанное построение дает для каждой прямой две точки схода на отражающей поверхности. Точки схода F, F', F'', F''' соответствуют отраженно несобственным точкам прямых m и n .

Точки схода принадлежат плоскости P , касательной фокальной поверхности конгруэнции отраженных лучей. Если точка зрения несобственная. То положение плоскости P определяется по формуле [8]

$$Y = \frac{r}{\sqrt{2}}.$$

Если точка C расположена на конечном расстоянии d от оси сферы, то формула имеет вид:

$$Y = r \frac{1 + (1 + 8d^2)^{\frac{1}{2}}}{4d},$$

где r – радиус окружности, $d=CO$.

Используя предложенный алгоритм, можно строить отражения на поверхностях второго порядка от любых контуров отражаемых объектов, произвольно расположенных в пространстве.

Выводы и предложения

1. Строить изображение блика в процессе проектирования поверхности возможно с учетом параметров дифференциальной геометрии. Для этого необходимо иметь теоретический чертеж поверхности (3D-модель).

2. Форму и динамику блика задает главная кривизна поверхности. Положение источников света и точки зрения особого значения не имеют.

3. Расположение и форма блика не всегда совпадает с образующей поверхности. Все зависит от того, какая линия принята за образующую. Блик выбирает образующую с минимальной кривизной.

Список использованных источников

1. Гильберт Д. Наглядная геометрия / Д. Гильберт, С. Кон-Фоссен. – М. : Наука, 1981. – 344 с.
2. Черніков Б. І. Графоаналітичне дослідження віддзеркалень на лінійчатих поверхнях / Б. І. Черніков, Я. В. Жарій // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2002. – № 15. – С. 5-10.
3. Режим доступа : <http://help.solidworks.com>.
4. Малюх В. Тестируем Artisan Rendering для КОМПАС-3D / В. Малюх // САПР и графика. – 2011. – № 12. – С. 52-56.
5. Режим доступа : <http://wikihelp.autodesk.com/Inventor>.
6. Черніков Б. І. Ідентифікація ліній кривизни на поверхні з врахуванням утворення світлової лінії / Б. І. Черніков, Я. В. Жарій // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К. : КНУБА, 2004. – Вип. 76. – С. 122-127.
7. Савелов А. А. Плоские кривые / А. А. Савелов. – М. : Госиздат физико-математической литературы, 1960.
8. Снисаренко Н. Н. Построение лучей, отраженных поверхностями вращения / Н. Н. Снисаренко // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К. : КИСИ, 1968. – Вып. 8. – С. 27-28.

УДК 539.3:534.1

Oksana Horbatko, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

MODELING OF TWILL-STRUCTURE OF REINFORCEMENT FOR PLAIN WOVEN GLASS FIBRE/EPOXY RESIN TEXTILE COMPOSITE

О.О. Горбатко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ TWILL-СТРУКТУРИ АРМУВАННЯ ТКАНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ЗІ СКЛОВОЛОКНАМИ

О.А. Горбатко, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ TWILL-СТРУКТУРЫ АРМИРОВАНИЯ ТКАНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СО СТЕКЛОВОЛОКНАМИ

This paper presents results of investigations plain woven glass-fibre/epoxy resin textile composite material. The geometric characteristics of Twill-structure of reinforcement with MIMAS software were obtained. The structure of one layer of textile composite material was modeled with ANSYS software complex.

Key words: textile composite material, modeling, Twill-structure of reinforcement, glass-fibre, epoxy resin.

Ця робота представляє результати досліджень полімерного текстильного композиційного матеріалу з тканим наповнювачем у вигляді скловолокна. Геометричні характеристики Twill-структури армування одержано за допомогою програмного забезпечення MIMAS. Структуру одного шару текстильного полімерного композиційного матеріалу змодельовано за допомогою комплексу ANSYS.

Ключові слова: текстильний композиційний матеріал, моделювання, Twill-структура армування, скловолокно, епоксидна смола.

Данная работа представляет результаты исследований полимерного текстильного композиционного материала с тканым наполнителем в виде стекловолокна. Геометрические характеристики Twill-структуры армирования получены с помощью программного комплекса MIMAS. Структура одного слоя текстильного полимерного композиционного материала смоделирована с помощью комплекса ANSYS.

Ключевые слова: текстильный композиционный материал, моделирование, Twill-структура армирования, стекловолокно, эпоксидная смола.

Introduction. Composite materials consist of at least two phases with different properties (elastic, plastic, elastic-plastic, viscoelastic, etc.). Variation of composition, form and content of components of composite materials in various combinations allows to create materials with significantly higher strength, stiffness, hardness, good damping properties in comparison to traditional materials with low thermal conductivity and high corrosion resistance. The properties of the composite material can be derived from the properties of the component or experimentally. Determination of effective characteristics of composite materials from the properties of components is the major objective of mechanics. Solution of this objective has two approaches. Deterministic approach – when the initial properties of the components, volume fraction and form of inclusions are adjustable parameters. Stochastic approach – when the properties of components and parameters of reinforcement are random parameters. There is problem of replacing the source material to a different, fictitious, usually homogeneous material with averaged characteristics for the deterministic approach. Substitution of materials are based on some criteria and assumptions and reduced to the equivalence of the fictitious and real materials in general [1].

There is no single model or method that allows to obtain the characteristics of composite materials with different components, form of structure and stress-strain conditions. Anisotropy and inhomogeneity of some composite materials make the problem of studying their characteristics more complex than for homogeneous materials. An important factor that influences the output characteristics of the material is the possibility to adjust the structure during development and design. Changing the structural parameters of individual components significantly influences the effective properties of material [2].

The simple method for determination of the properties of composite materials is the creation of models and calculation methods using mathematical tools and the properties of the components. This method allows take into account structural features and the type of stress-strain state. Using theoretical methods is justified when it is impossible to conduct experimental studies due to the complexity of the problem. Numerical simulations of the composites have many objectives, in particular determination of properties structure of material. The properties of the textile composite material depends of the properties of each phase, thickness of the fibres, their number in a single layer, layer thickness, their geometric distribution and other structural characteristics [3].

Literature review. The maximum approximation model to the real stuff is necessary factor for study the properties and the construction of the numerical or other model of textile composite materials of any structure of reinforcement. For this approximation is needed the most accurate approximation to the real structure of the material, i.e. the exact values of the geometric dimensions of the layer of material, thickness of the fibers, volume fraction and others. Such data can be obtained from a real composite material.

Mahmood, Wang and Zhou [5] presented methodology to predict the engineering elastic constants of 3D woven orthogonal composites based on a volume averaging method. The investigations were conducted with known structure features of one layer of composite: volume fraction, width of one bunch, distance between two bunches, properties of phases etc. The methodology has been proposing to use for other kinds of textile composites.

Khan [3] used for the prediction of mechanical characteristic of woven composites as a continuum on average at macroscopic scale. Numerical models of Plain-weave fabric, Twill-weave fabric, Satin weave fabric composite materials were obtained from properties of composite components. For investigations were used mechanical properties of fabrics and geometric features of material structure.

For prediction of mechanical properties of textile composites at the microscopic scale fibers were investigated as individual entities by Sherburn [6]. The interactions between these entities were modeled with software package named TexGen. The geometrical models created by TexGen were then used with finite-element method.

Kim and Swan [7] presented geometry description of woven yarn and its cross section. Variants of finite-element cell models of plane-weave textile with orthogonal inserts were obtained.

Principle of modeling and investigation of textile structures was obtained by Lomov and Belov [8]. The model of textile geometry served as a base for meso-mechanical structures of composites, which provided simulation tools for analysis of properties.

Nakai, Kurashiki and Zako [9] presented finite-element modeling of textile composites with using of built finite-element model for unidirectional fiber-reinforcement composites. The representative elements for two kinds of textile woven fabric structures were obtained. For prediction of mechanical properties of material were used geometric dimensions of the layer of material, volume fraction, thickness of the fibers and others. Such data can be obtained from a real composite material.

However, in many cases, the precise measurement of geometric dimensions of the material by conventional contact methods is impossible due to the small size of the components of the material. In such cases, the use of non-destructive methods, along with special software system is justified substantially, because it is not affected to the real structure of the material [4].

Unsolved aspects of the problem. One of the software systems, which allows to make prediction of geometric properties for any type of material without altering of structure is MIMAS (Mikrooptik IMage Analysis Software). After conducting such research in any finite-element software product it can build models of textile composites, selecting representative volume element of the whole material. There are several models For textile composites [2, 10]. The constructed finite-element model will determine initial mechanical and other properties of composite materials.

Objective of the paper. The objective of present paper is conduction of investigations for textile composites with Twill-structure reinforcement with glass fibers and reproduction and construction models of such materials with using of MIMAS software system.

Investigation of Twill-structure of reinforcement. There are many textile composite materials with different kinds of structure reinforcement and fibers [2]. In the present paper woven textile glass-fibre Twill-structure of reinforcement is investigated (fig. 1).

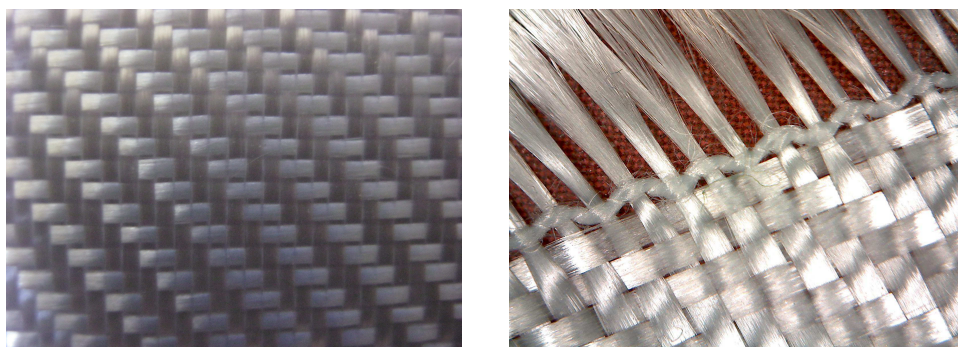


Fig. 1. Plain woven glass-fibre Twill-structure of reinforcement

In the textile composite material like this fibres with diameter in the range cross-section shape ($\sim 5\text{-}10\text{ }\mu\text{m}$ micron) (fig. 2, *a*, digital microscope) are connected into the bunch which are then woven into the structure (fig. 2, *b*).

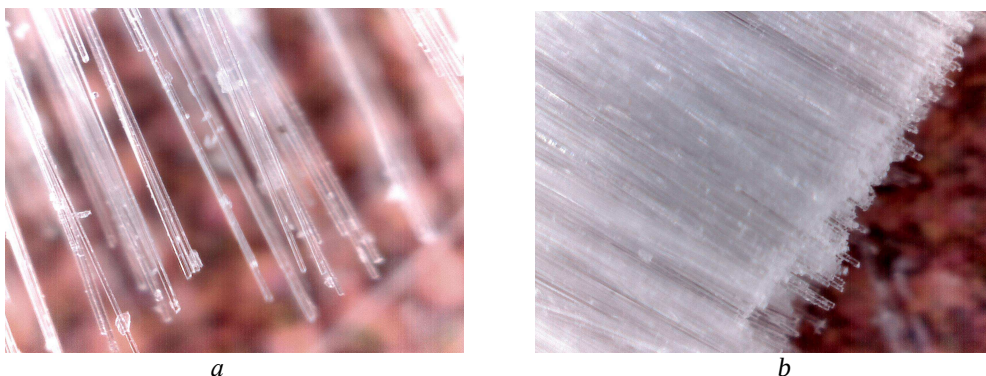


Fig. 2. Structure of glass fibres (a) and bunch (b) of textile composites

For building of finite-element model of composite materials exact values of width of bunch and distance between two bunches are needed. Software complex MIMAS, v.4.2.0 was used for definition of geometrical sizes (fig. 3).

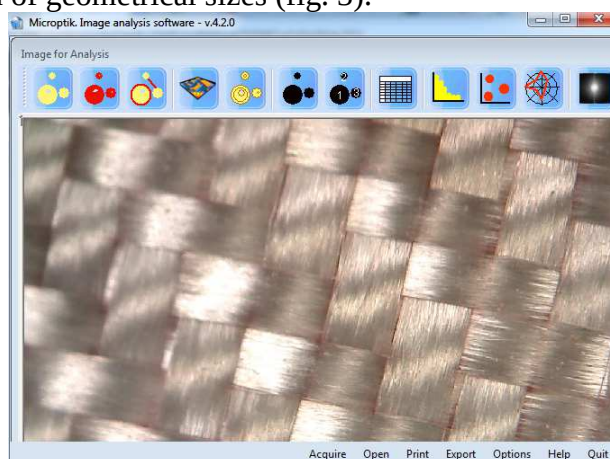


Fig. 3. View of working window of MIMAS software

Digital microscopes were used for obtaining of high magnified images of textile structure. For designation of sizes for one layer of plain woven glass-fiber structure was conducted ruler with millimeters scale of measurements (fig. 4).

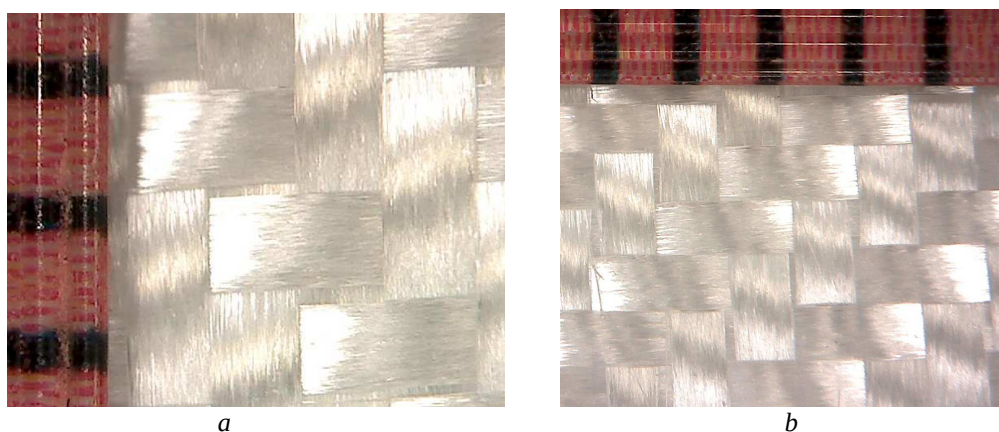


Fig. 4. Samples of textile glass-fiber structure of reinforcement with different degrees of approximation and vertical (a) and horizontal (b) location of ruler

For improvement the accuracy of measurements sixteen images with different degrees of approximation and location of ruler were obtained with microscopes. Sizes (distances) for each image were measured in average four times (fig. 5).

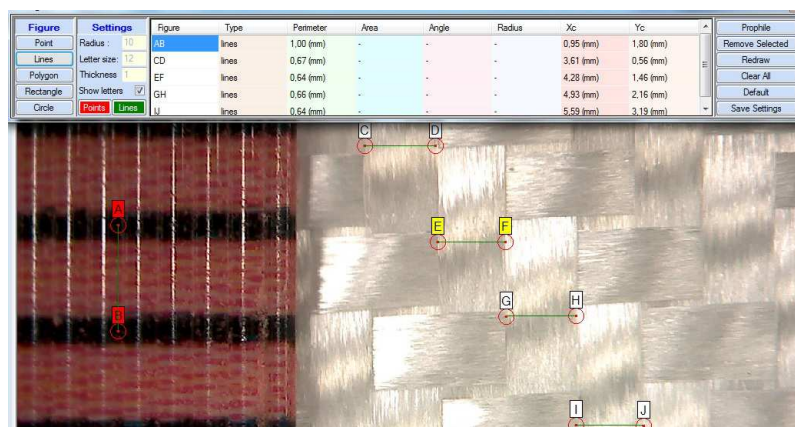


Fig. 5. The sample of textile glass-fiber structure of reinforcement with the calibration scale and measurement of the distances using the MIMAS software

For the building of the finite-element models of plain woven glass fibre textile composite material representative element was obtained. This periodic repetition reproduces the actual structure of the composite material (fig. 6).

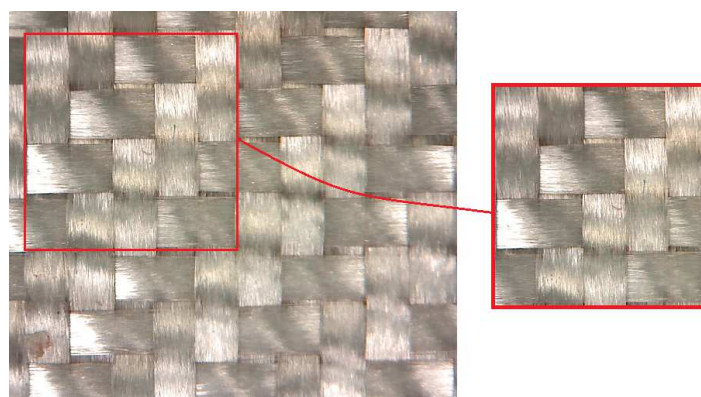
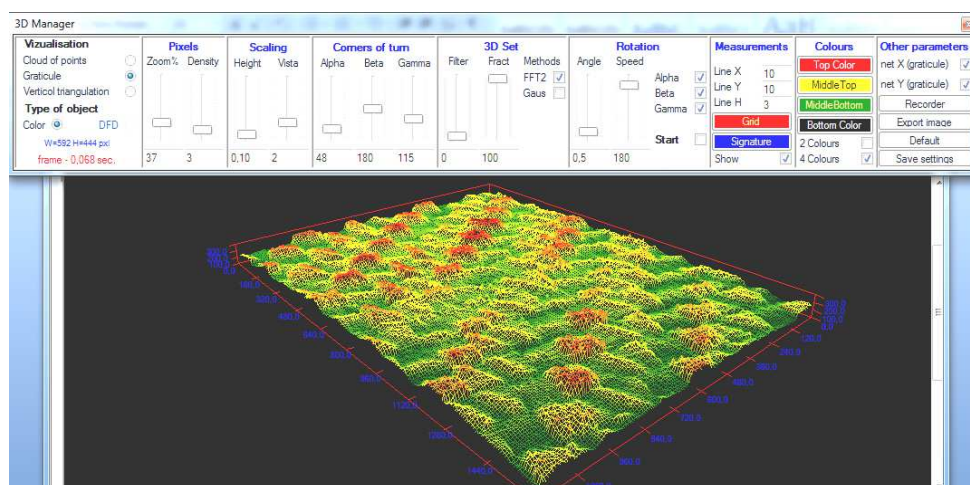


Fig. 6. Representative element of plain woven glass-fibre/epoxy resin textile composite material

After measuring the required geometrical dimensions using a number of images of layers 3D (three-dimensional) image was constructed (fig. 7). This image was used for determining the bending angle of the bunches and thickness of one layer.



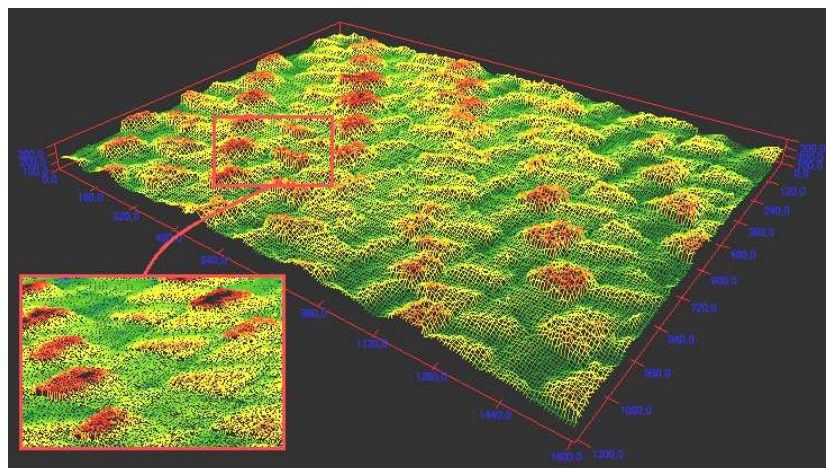


Fig. 7. 3D-model of the one layer of woven glass-fibre Twill-structure of reinforcement

The average width of one bunch of glass fibers and distance between two bunches of fibers were obtained from 64 measurements. Dependences width of one bunch of fibres (in mm) and distance between two bunches of fibers (in mm) from number of measurements are shown on fig. 8-9.

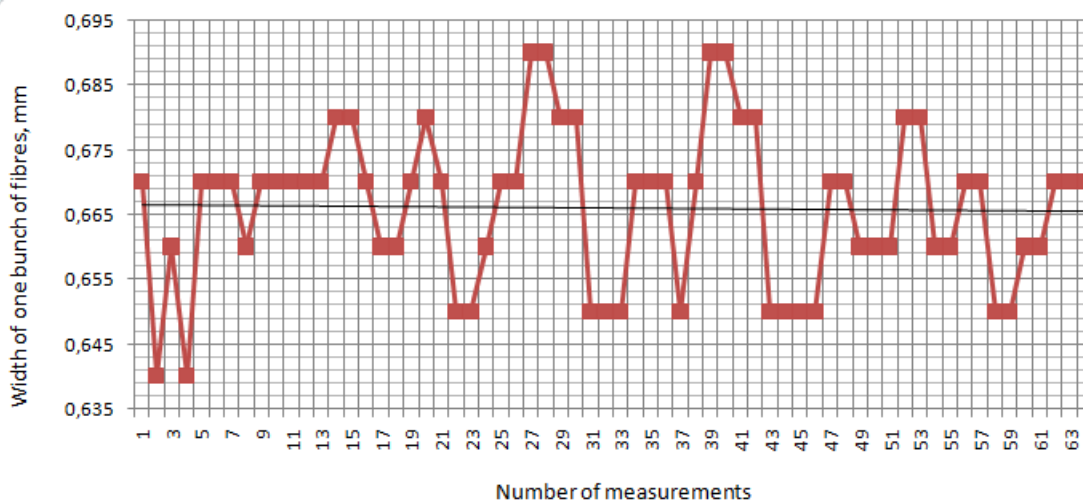


Fig. 8. Dependence width of one bunch of fibres (in mm) from number of measurements

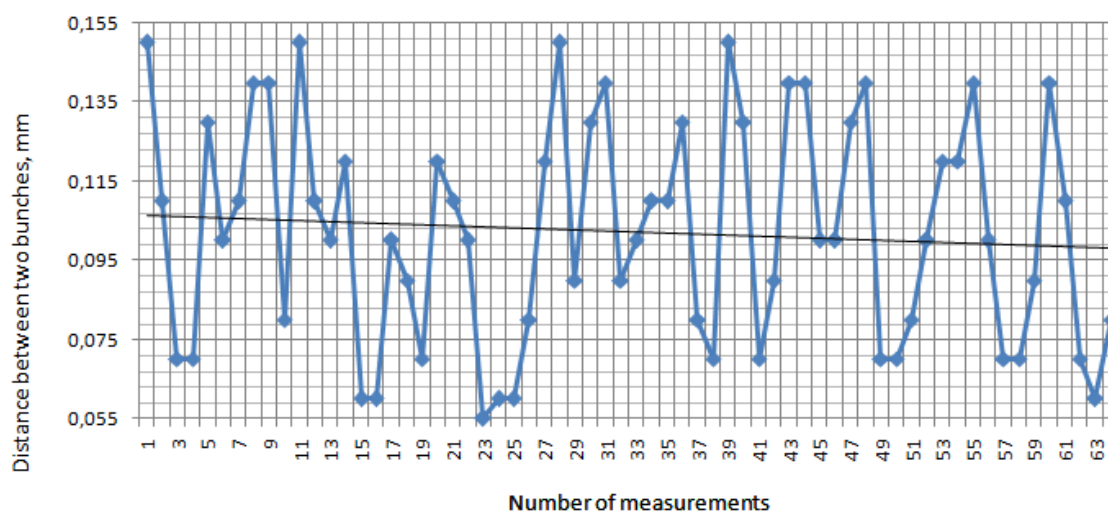


Fig. 9. Dependence distance between two bunches of fibers (in mm) from number of measurements

The properties of the glass fibre layers, derived from the images, are shown in Table 1.

Table 1

Properties of the layers of glass fibers in the textile composite material

Property	Quantity
Density	280-300 g/m ²
Average width of one tow of fibers	0,667 mm
Average distance between two tows of fibers	0,102 mm

The properties of the components of plain woven glass-fibre/epoxy resin textile composite material are given in Table 2.

Table 2

The properties of the components of plain woven glass-fibre/epoxy resin textile composite material

Material	Young's modulus E, GPa	Poisson's ratio, ν
Fibers - E-glass	72	0,2
Matrix - Epoxy (Aradur 5052)	3,35	0,35

Conclusions. The investigations for plain woven textile composites with Twill-structure reinforcement with glass fibers were conducted. The MIMAS software was used for prediction of geometrical properties of a plain woven glass fibre Twill-structure of reinforcement, including the estimated average width of a single bunch of material in horizontal and vertical directions and the average vertical and horizontal distances between two bunches of fibers. The thickness of one layer of material and bending angles were determined. Necessary geometric properties for building of finite-element model of textile composite with Twill-structure of reinforcement were obtained.

References

1. Berlin A. Advanced Polymer Composites / A. Berlin // Soros Educational Journal. – 1995. – № 1. – P. 57-65.
2. Композиционные материалы : справочник / под общ. ред. В. В. Васильева. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. Khan M. A. Numerical and Experimental Forming Analyses of Textile Composite Reinforcements Based on a Hypoelastic Behavior / M. A. Khan. – Lyon : LaMCoS, 2009. – 142 p.
4. Бардзокас Д. И. Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры / Д. И. Бардзокас, А. И. Зобнин. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 376 с.
5. Mahmood A. Analysis of 3D Woven Orthogonal Composite / A. Mahmood, X. Wang, C. Zhou // Journal of IEEE, 2011. – Vol. 3. – P. 757-761.
6. Sherburn M. Geometric and Mechanical Modeling of Textile / M. Sherburn. – Nottingham : University of Nottingham, 2007. – 271 p.
7. Kim H. Voxel-Based Meshing and Init Cell Analysis of Textile Composites / H. Kim, C. Swan // Composites. – 2006. – Vol. 37. – P. 246-248.
8. Lomov S. Textile Composites Models: Integrating Strategies / S. Lomov, E. Belov // Composites. – 2001. – Vol. 32. – P. 1379-1394.
9. Nakai H. Individual Modeling of Composite Materials with Mesh Superposition Method Under Periodic Boundary Condition / H. Nakai, H. Kurashiki // Composites. – 2006. – Vol. 37. – P. 429-438.

РОЗДІЛ II. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.22.011

Б. В. Малигін, д-р техн. наук

О. В. Котило, аспірант

М.Ю. Амелін, аспірант

Херсонська державна морська академія, м. Херсон, Україна

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ГІДРОТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО ОБРОБЛЕННЯ В УМОВАХ ГРАНИЧНОГО ЗНОШЕННЯ

Б.В. Малыгин, д-р техн. наук

А.В. Котыло, аспірант

М.Ю. Амелин, аспірант

Херсонская государственная морская академия, г. Херсон, Украина

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ГИДРОТРАНСПОРТА ЗА СЧЁТ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДЕЛЬНОГО ИЗНОСА

Borys Malyhin, Doctor of Technical Sciences

Oleksii Kotylo, PhD student

Maksym Amelin, PhD student

Kherson state marine academy, Kherson, Ukraine

IMPROVEMENT OF HYDROTRANSPORT RELIABILITY BY MAGNETIC TREATMENT IN THE CONDITIONS OF LIMITED WEAR

Розглянуто проблеми надійності та продуктивності систем гідротранспорту. Розглянуто можливості їх усунення та запропоновано теоретичне рішення щодо покращення надійності та збільшення продуктивності систем гідротранспорту. Запропоновано можливість використання прикладного магнетизму при удосконаленні гідротранспортних систем.

Ключові слова: гідротранспорт, магнітно-імпульсне оброблення, проблеми перекачування суспензій.

Рассмотрены проблемы надежности и производительности систем гидротранспорта. Рассмотрены возможности их устранения и предложено теоретическое решение по улучшению надежности и увеличения производительности систем гидротранспорта. Предоставляется использования прикладного магнетизма при совершенствовании гидротранспортных систем.

Ключевые слова: гидротранспорт, магнитно-импульсная обработка, проблемы перекачки суспензий.

This article examines the reliability and performance of systems hydrotransport. The possibilities of their elimination and proposed a theoretical solution to improve reliability and increase system performance hydrotransport. Provided using of magnetism in improving application of hydrotransport systems.

Key words: hydrotransport, magnetic pulse treatment, problems pumping slurries.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Гідротранспорт широко застосовується у процесі видобутку будівельних матеріалів, видобутку корисних копалин, розроблення морських шляхів та в інших галузях. Основним засобом гідромеханізації у всіх галузях господарства є плавучі землесосні снаряди і стаціонарні ґрунтонасосні установки.

Оснoву системи гідротранспорту становить ґрунтонасосна установка, яка включає в себе приводний двигун, систему передачі крутного моменту, насос та трубопроводи, які працюють у динамічних умовах роботи. Надійність – це здатність системи до безвідмовної роботи протягом тривалого часу. Тому надійність експлуатації енергетичної установки гідротранспорту визначає роботу насосів установки і, таким чином, їх підвищення є досить актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам підвищення ефективності та надійності систем гідротранспорту присвячені наукові роботи Ю.В. Гостева [2], Л.А. Смойловської, Е.П. Жарницького [5] та інших. Ними вирішене широке коло завдань розпушування і всмоктування ґрунтів під водою, створення і вдосконалення ґрунтових насосів, гідравлічного транспорту, раціональної технології роботи землесосних снарядів.

Однак, незважаючи на великий обсяг виконаних досліджень, надійність роботи системи залишається низькою. Це пояснюється тим, що для роботи систем гідротранспорту застосовуються старі малоефективні схеми і пристрої, надійність системи є досить низькою через недостатню вивченість розподілу напружень у металах деталей насосів під час їх роботи та відсутності систем усунення цих навантажень.

Формулювання цілей статті. Метою цієї роботи є використання магнітного оброблення сталей, яка дозволяє забезпечити достатню надійність експлуатації гідротранспорту, навіть в умовах граничного зношення, з одночасним значним зниженням вартості експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Основою системи гідротранспорту є відцентрові ґрунтові насоси, призначені для всмоктування і переміщення під напором по трубах пульпи. Вони можуть перекачувати пульпу, що містить великі кам'яністі включення. Одноступінчатий відцентровий насос, робочим органом якого служить колесо з декількома спіральними лопатками, закріплений на приводному валу. Приводний вал землесоса з'єднаний з валом електродвигуна муфтою. У ході обертання робочого колеса створюється розрядження на вході в насос, у результаті чого пульпа засмоктується через всмоктуючий патрубок корпусу і під дією відцентрових сил і лопаток колеса відкидається в напірний трубопровід. Адже найбільш інтенсивному зношуванню під стихаючим і ударним впливом частинок ґрунту піддається корпус насоса [3].

Однією з основних технічних проблем є проблема підвищення пропускних можливостей трубопроводів. Підвищити пропускну можливість можна, збільшивши тиск у трубах, але для цього потрібні більш товсті трубопроводи, що здорожує їх вартість. Збільшення пропускних можливостей може досягатися також прокладкою допоміжних ліній. Продуктивність може бути підвищена під час ліквідації турбулентності, яка знижує швидкість транспортування. Для цього застосовують штучні "водорості", що розбивають потік рідкого вантажу. А також пропускну здатність може бути збільшена за рахунок покращення механічних характеристик трубопроводів та насосів. І це є найбільш економічним способом є підвищення продуктивності вже встановленого обладнання, що у свою чергу викликає і підвищення надійності системи загалом.

Специфіка роботи гідротранспортних систем зумовлена перекачуванням неоднорідних суспензій. Для краплинної рідини домішками можуть бути інші рідини, гази і тверді тіла. У таких випадках рідина з домішками може утворити гомогенну або гетерогенну суміш.

Гомогенні суміші утворюються в тих випадках, коли в основній рідині домішки розподіляються по всьому об'єму розчинювальної рідини рівномірно на рівні молекул. У таких випадках суміш являє собою однорідне середовище. Самі ж домішки є компонентами. У тих випадках, коли домішки в основній рідині знаходяться не на молекулярному рівні, а у вигляді частинок, що являють собою численні асоціації молекул речовини домішки, то такі суміші не можуть вважатися однорідними розчинами. Фізичні властивості таких сумішей (включаючи щільність і питому вагу) будуть залежати від того, яка речовина буде знаходитися в точці вимірювання. Такі суміші будуть неоднорідними (гетерогенними) сумішами [1].

Такі суміші називають багатофазними рідинами. Відмінною особливістю багатофазних рідин є наявність у них внутрішніх кордонів розділу між фазами, уздовж цих по-

верхонь розділу діють сили поверхневого натягу, які можуть виявитися значними при великій площі поверхні поділу між фазами. Сили поверхневого натягу разом з іншими силами, що діють у багатофазній рідині, збільшують сили опорів руху рідини.

Прикладів багатофазних рідин у природі багато: емульсії – суміші двох і більше нерозчинних одна в одній рідин; газовані рідини – суміші рідини з вільним газом, суспензії та пульпи – суміші рідин і твердих часток, що знаходяться в рідині. У випадку роботи системи гідротранспорту ці рідини діють на систему з певною силою, яка викликає зміни в агрегатах системи. Щоб підвищити надійність системи, необхідно розглянути фізику процесу дії цих рідин на елементи системи.

Зношування деталей насоса та трубопроводу обумовлене зачепленням мікронерівностей на контактуючих поверхнях під час переміщення відносно один одного, а також при ударних навантаженнях на області з високою концентрацією напружень. Які пов'язані з неоднорідністю дії сил у багатофазних рідинах. Система гідротранспорту не може бути захищена від постійних ударів та від впливу вібрацій, пов'язаного з тим, що у процесі зношування деталей амплітуда вібраційних коливань зростає. Посилений вібраційний вплив викликає пробою гідродинамічного розділового шару і змушує вузли працювати в режимі підвищеного навантаження [6].

Таким чином, забезпечення надійності роботи гранично зношеного обладнання та техніки вимагає пошуку принципово нових підходів. Вирішення цього завдання підготовлено багаторічною роботою вітчизняної науки, що об'єднує дослідників ефекту магнітно-імпульсного оброблення.

Ефективність захисту від зносу за допомогою видалення залишкових напружень настільки велика, що можна говорити про практичну реалізацію системи, яка могла б компенсувати виникаючі напруження напруги під час роботи.

У результаті відпадає необхідність додаткового обслуговування, з'являється об'єктивна необхідність масового застосування засобів магнітного оброблення, чим забезпечується достатня надійність експлуатації обладнання, навіть в умовах граничного зношення, з одночасним значним зниженням вартості експлуатації [4].

У процесі вивчення магнітно-імпульсного оброблення ми встановили, що під час магнітного впливу речовина змінює свої фізичні і механічні властивості. Поліпшення властивостей у феромагнітних деталей, що пройшли МІО, досягається за рахунок спрямованої орієнтації вільних електронів речовини зовнішнім полем.

Нами наводилася спроба створити теорію усунення залишкових і втомних напружень у механізмах. У дослідях вивчали вплив магнітного оброблення на зміну деяких механічних характеристик вуглецевих сталей. Досліди велися на зразках маловуглецевих сталей, вуглецевих якісних конструкційних сталей, легованих сталей, високолегованих корозійностійких, жаростійких і жароміцних сталей, а також на заготовках з сірих і високоміцних чавунів. Ми вивчали вплив магнітного оброблення на зміну витривалості (σ_v), текучості (σ_T), втоми (σ_d), відносного розтягу (δ) і звуження (ψ), ударної в'язкості (d_H), а також інших параметрів. МІО проводилась з використанням апарата «Магнітрон» з використанням соленоїду з опором у 20 Ом. Вплив на деталі проводився імпульсами з тривалістю 2 с, з інтервалами між імпульсами 0,5 с. Перевірка механічних характеристик виконувалась за допомогою установки Рокквела та установки для перевірки деталей на розтяг.

При МІО зразків матеріалів контролювалась зміна надлишкової енергії $A_{изб}$ (кДж/м³), а також швидкість поглинання і дисперегування речовиною магнітної енергії D_w (кДж/м³ час). Досліди (табл.) показали, що у зразках матеріалів-провідників сконцентровано до 80 ... 100 кДж/дм³ надлишкової енергії. Тобто в заготовках матеріалу закладено 30 ... 80 % залишкових напружень, які заздалегідь знижують ресурс деталей

машин. Величина надлишкової енергії у сталевих зразках залежала від складу та умов термообробки заготовки коливалася від 25 до 77 %.

У дослідях показано, що у процесі магнітно-імпульсного оброблення залістистих сплавів швидкість поглинання енергії зазвичай пропорційна швидкості диспергування її масою речовини. Характер і швидкість поглинання електромагнітної енергії феромагнетиками визначається величиною надлишкової енергії, укладеної на загальній поверхні взаємодії зерен сплаву. Досліди показали, що надлишкова енергія в зернах загартованої вуглецевої сталі в середньому становить: у зерен фериту – 10 %, аустеніту – 40 %, перліту – 50 %, мартенситу – 80 %, у цементиту – 34 %. Надлишкова енергія на поверхні кристалітів чавуну в середньому дорівнює для: сірих – 86 %, ковких – 39 %, високоміцних – 125 %.

Таблиця

Властивості сталей до (чисельник) та після МІО (знаменник)

Матеріал	σ_b , кН/мм ²	σ_t , кН/мм ²	σ_d , кН/мм ²	δ , %	ψ , %	d_n , кН/см	$A_{изб}$, кДж/м ³	D_w , кДж/м ³ ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сталь								
35	$\frac{540}{600}$	$\frac{320}{373}$	$\frac{344}{386}$	$\frac{20}{22}$	$\frac{45}{49}$	$\frac{3,0}{3,5}$	$\frac{1}{0,6}$	0,51
40	$\frac{580}{621}$	$\frac{340}{387}$	$\frac{350}{390}$	$\frac{20}{25}$	$\frac{45}{52}$	$\frac{3,1}{3,7}$	$\frac{1}{0,65}$	0,53
45	$\frac{610}{668}$	$\frac{360}{403}$	$\frac{365}{400}$	$\frac{18}{23}$	$\frac{42}{48}$	$\frac{3,2}{3,8}$	$\frac{1}{0,66}$	0,54
65Г	$\frac{750}{820}$	$\frac{500}{550}$	$\frac{460}{400}$	$\frac{10}{11}$	-	$\frac{10,4}{11,2}$	$\frac{1}{0,75}$	0,66
40Х	$\frac{920}{1000}$	$\frac{1340}{1460}$	$\frac{1400}{1520}$	$\frac{12}{16}$	$\frac{52}{58}$	$\frac{3,8}{4,4}$	$\frac{1}{3,1}$	0,51
40ХГТ	$\frac{880}{920}$	$\frac{760}{840}$	$\frac{810}{830}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{45}{51}$	$\frac{12,0}{13,1}$	$\frac{1}{4,1}$	0,61
40ХС	$\frac{1280}{1340}$	$\frac{1160}{1210}$	$\frac{1020}{1100}$	$\frac{12}{14}$	$\frac{42}{46}$	$\frac{13,0}{14,0}$	$\frac{1}{4,0}$	0,54
Н5МЗ	$\frac{560}{600}$	$\frac{500}{540}$	$\frac{520}{580}$	$\frac{13}{15}$	$\frac{40}{44}$	$\frac{36}{40}$	$\frac{1}{0,3}$	0,28

Після МІО зносостійкість і пластичність як сталі, так і чавуну підвищується. Підвищення механічних характеристик сплавів, таких як витривалість, ударна в'язкість та інші, супроводжується поліпшенням теплофізичних властивостей зразків, наприклад, теплостійкості, швидкості охолодження тощо.

Внаслідок МІО сталі звичайної якості межу витривалості підвищується не менше, ніж на 8 %, межа текучості – на 5 ... 10 %, коефіцієнт подовження – на 6 ... 8 %, а межа втоми – на 10 ... 15 %. Основні механічні характеристики після оброблення вуглецевих і якісних конструкційних сталей підвищувалися більш ніж на 10 %. Твердість конструкційних матеріалів після оброблення змінювалася незначно.

Лінійна, об'ємна і тензорна теплопровідність у омагнічених зразків сталі підвищилася на 10 ... 15 %. Коефіцієнт лінійного розширення сталевих зразків зменшився, а їх «компактність» зросла майже в два рази. Міцність і витривалість зразків термооброблених високолегованих сталей збільшувалася: для сталей мартенситного класу на 6 ...

8 %, для сталей аустенітного класу – на 12 ... 16 %. Терmostійкість, жаростійкість і жароміцність магнітозміцнених зразків легованих сталей зросла на 10 ... 15 %.

Оскільки під час роботи гідротранспортної системи концентрація напружень на деталях залежить від розподілу маси вантажів, що транспортуються, то ефективність МІО залежатиме від розподілу магнітної енергії під час роботи насоса.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямку. З вищевикладеного можна виокремити такі економічно обумовлені завдання, які можна вирішити за рахунок використання системи магнітно-імпульсного оброблення, а саме: продовження терміну служби зношеного обладнання та техніки в умовах експлуатації, коли відомі засоби боротьби із зносом не допомагають. Магнітне оброблення металів показала себе як ефективний спосіб підвищення механічних характеристик металів, а отже, може бути використано як засіб збільшення надійності та продуктивності гідротранспортних систем.

Однак продовження експлуатації вузлів тертя в умовах посиленого вібраційного впливу загрожує відмовами внаслідок утворення тріщин, сколів тощо. Тому оптимальні результати досягаються у процесі застосування магнітно-імпульсного оброблення, що дозволяє зменшити концентрацію напружень у вузлах деталей під час роботи системи. Рішення проблем надійності та продуктивності на трубопроводному транспорті за рахунок МІО дозволить знизити собівартість гідротранспорту.

Залишається складною проблема зменшення кількості персоналу, що працює, на гідротранспортних станціях. Для цього тривають дослідження з широкого впровадження засобів автоматизації управління роботою трубопроводів. Такі системи дозволяють забезпечити оптимальне функціонування трубопроводу за заданими параметрами, а також вести облік і аналіз виробничої та економічної діяльності.

Список використаних джерел

1. Брагин Б. Ф. Гидротранспортные системы с трубчатыми питателями / Б. Ф. Брагин, Б. И. Лесной // Промышленный транспорт. – 1975. – № 12.
2. Гостев Ю. В. Новый подход к обеспечению надежности эксплуатации теплоэнергетического оборудования / Ю. В. Гостев, В. И. Новиков, В. В. Пасков // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 1. – С. 37-45.
3. Давидянц Г. П. Гидравлический транспорт и складирование пород от экскаваторов на вскрыше карьеров будущего / Г. П. Давидянц, И. С. Булгаков, В. В. Лосицкий // Разработка рыхлых пород экскаваторами непрерывного действия. – Губкин : НИКМА, 1974. – Вып. 4.
4. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин / Б. В. Малыгин. – М. : Машиностроение, 1989. – 112 с.
5. Смойловская Л. А. Влияние числа оборотов на износ насосов, работающих на гравийных пульпах / Л. А. Смойловская, Е. П. Жарницкий // Всесоюзный межотраслевой семинар по гидромеханизации : сб. тезисов докладов. – М. : Губкин, 1976. – Вып. 6.
6. Справочник. Гидравлическое складирование хвостов обогащения. – М. : Недра, 1998. – 208 с.

УДК 621.822.172:621.7.079

Д.Ю. Федориненко, д-р техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ
ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР РЕГУЛЬОВАНОГО ТИПУ****Д.Ю. Федориненко**, д-р техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ
ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР РЕГУЛИРУЕМОГО ТИПА****Dmytro Fedorynenko**, Doctor of Technical Science

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

**OPTIMIZATION OF DESIGN OF HIGH-SPEED HYDROSTATIC BEARINGS
OF ADJUSTABLE TYPE**

Перспективним шляхом підвищення точності та продуктивності процесів механічного оброблення на верстатах є застосування шпиндельних гідростатичних опор регульованого типу. Розроблено методику багатокритеріальної оптимізації високошвидкісних гідростатичних опор з пружними елементами корпусу. Створена лінеаризована математична модель оптимізаційної задачі, яка дозволяє використовувати методи лінійного програмування для пошуку оптимальних значень параметрів. Запропонований алгоритм багатокритеріальної оптимізації шпиндельного вузла на основі методу ЛПТ пошуку, реалізований засобами пакета MathCAD. У результаті оптимізації отримані оптимальні значення конструкційних та експлуатаційних параметрів підшипників з метою забезпечення опорними вузлами точнісних і швидкісних характеристик шпиндельних вузлів.

Ключові слова: оптимальне проектування, гідростатична опора, метод ЛПТ пошуку, регулювання, шпиндель.

Перспективным путем повышения точности и производительности процессов механической обработки на станках является применение шпиндельных гидростатических опор регулируемого типа. Разработана методика многокритериальной оптимизации высокоскоростных гидростатических опор с упругими элементами корпуса. Создана линеаризованная математическая модель оптимизационной задачи, которая позволяет использовать методы линейного программирования для поиска оптимальных значений параметров. Предложен алгоритм многокритериальной оптимизации шпиндельного узла на основе метода ЛПТ поиска, реализованный средствами пакета MathCAD. В результате оптимизации получены оптимальные значения конструкционных и эксплуатационных параметров подшипников с целью обеспечения опорными узлами точностных и скоростных характеристик шпиндельных узлов.

Ключевые слова: оптимальное проектирование, гидростатическая опора, метод ЛПТ поиска, регулирование, шпиндель.

Prospective way to improve the accuracy and performance of the machining processes is the use spindle hydrostatic bearings adjustable type. The work is developed the technique of multi-criteria optimization of high-speed hydrostatic bearings with elastic elements of the body. Created linear mathematical model of optimization problem, which allows the use of methods linear programming to search for the optimal parameter values. The proposed algorithm for multiobjective optimization spindle knot on the basis of the linear programming method, implemented by means of MathCAD. As a result of optimization of the obtained optimal values of the design and operating parameters of bearings to ensure the supporting units of precision and speed characteristics of spindles.

Key words: optimal design, hydrostatic bearing, linear programming method, regulation, spindle.

Постановка проблеми. Сьогодні в умовах жорсткої конкуренції на ринках збуту продукції актуальною проблемою є підвищення якості машинобудівних виробів, продуктивності машинобудівного виробництва та скорочення термінів його технічного підготування. Проблема якості та продуктивності безперервно пов'язана з точністю та продуктивністю механічного оброблення і, передусім, з точністю та робочими швидкостями шпиндельних вузлів, як однієї з основних формоутворюючих ланок верстата.

Одним з перспективних напрямків розвитку верстатобудування є створення новітніх прецизійних конструкцій шпиндельних вузлів при одночасному підвищенні швидкості їх обертання. Ефективним засобом вирішення поставлених проблем є застосування керованих гідростатичних, гідростатодинамічних підшипників як опор високошвидкісних шпиндельних вузлів, які поряд з високою жорсткістю та демпфуючою здатністю дозволяють керувати вихідними параметрами точності обертання шпинделя. Однак широке впровадження у практику верстатобудування нових конструкцій верстатів з керованими гідравлічними опорами шпинделя, незважаючи на переваги, стримується відсутністю методик проектування та практичних рекомендацій щодо їх промислового використання.

Подальше вдосконалення технічних рішень щодо розроблення високошвидкісних опор шпинделя регульованого типу, встановлення їх оптимальних параметрів є актуальною науково-технічною проблемою машинобудування, вирішення якої дозволить значно підвищити точність і продуктивність оброблення на металорізальних верстатах.

Аналіз досліджень і публікацій. Системні дослідження високошвидкісних гідростатичних опор (ГСО) виконані науковою школою Н.П. Артеменко, де на основі ґрунтовного теоретичного аналізу робочих процесів в опорах запропоновано певні схемні рішення конструкцій опор високошвидкісних роторів [1]. Наведені порівняння теоретичних і експериментальних результатів розрахунку динамічних характеристик роторів та вибору конструктивних параметрів ГСО [2].

У роботах [3; 4] зазначається, що ГСО роботоспроможні у вузькому діапазоні зміни їх геометричних та експлуатаційних параметрів. Це обумовлює необхідність у ґрунтовному аналізі робочих процесів в опорах, оптимального розрахунку конструктивних та технологічних параметрів опори, що дозволить забезпечити розширення швидкісного діапазону експлуатації шпиндельних вузлів на ГСО.

Слід також зазначити, що нині відсутні методики оптимального проектування ГСО з пружними елементами корпусу. Крім того, наявні методики оптимізації шпиндельних вузлів на ГСО не зручні з погляду формалізації проектних процедур, що фактично унеможливорює використання автоматизації проектування. З метою розширення технологічних можливостей верстатів та підвищення технічного рівня ГСО шпиндельних вузлів необхідне розроблення проектних методик на основі оптимізації вибору параметрів опор шпинделя, сучасних методів та систем автоматизованого проектування.

Мета статті. Розроблення методики та алгоритму оптимального проектування високошвидкісних шпиндельних вузлів на ГСО регульованого типу.

Виклад основного матеріалу. Оптимальне проектування шпиндельних вузлів передбачає побудову математичного опису всіх складових задачі, а саме: параметричних, функціональних обмежень, функції цілі, оптимізаційного алгоритму. Складність процесу оптимізації системи „шпиндель – опори” полягає у значній розмірності простору „параметри оптимізації – функції цілі”.

У результаті аналізу літературних джерел, накопиченого досвіду експлуатації ГСО визначено критерії, які чинять найбільший вплив на якість високошвидкісних шпиндельних вузлів верстатів, а саме: жорсткість опори (j_p); демпфування в опорі (h_p); втрати потужності у мастильному шарі опори (P_p); витрата робочої рідини в опорі (Q_p); час перехідного процесу опори (t_n); нормована ступінь стійкості опори (η_0).

Параметри j_p та h_p є визначальними з погляду забезпечення високої точності обертання шпинделя. Втрати потужності, витрата рідини є лімітуючим фактором для застосування гідростатичного мащення високошвидкісних шпиндельних вузлів. Регульована ГСО є виконавчим механізмом системи автоматичного керування положенням шпинделя [3], тому важливими критеріями її працездатності є стійкість та швидкодія. Докладно питання розроблення шпиндельних ГСО регульованого типу викладені у монографії [3].

Таким чином, система цільових функцій виражається у вигляді: $j_p \rightarrow \max$; $h_p \rightarrow \max$; $P_p \rightarrow \min$; $Q_p \rightarrow \min$; $t_n \rightarrow \min$; $\eta_0 \rightarrow \max$.

Математичне формулювання системи цільових функцій може бути представлено у вигляді:

$$j_p = 13,5 \cdot 10^6 \cdot \frac{p_H \cdot \pi \cdot D \cdot l_a}{\delta_0}, \text{ Н/м}; \quad h_p = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\mu \cdot D^3 \cdot A_1}{\delta_0^3}, \text{ Н}\cdot\text{с/м};$$

$$P_p = 0,44 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{\mu \cdot D^3 \cdot n_{ш}^2 \cdot A_2}{\delta_0} + 10^3 \cdot \frac{p_H^2 \cdot \delta_0^3 \cdot A_3}{\mu}, \text{ Вт};$$

$$Q_p = 0,664 \cdot \frac{p_H \cdot \delta_0^3 \cdot A_3}{\mu}, \text{ м}^3/\text{с}; \quad t_n = 6T_2^2/T_1, \text{ с}; \quad \eta_0 = \eta(K_{zco} \cdot m_0)^{\frac{1}{2}}; \quad (1)$$

де p_H – тиск насоса;

D – діаметр опорної шийки шпинделя;

l_a – довжина аксіальної перемички;

δ_0 – радіальний зазор в опорі;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини;

$n_{ш}$ – частота обертання шпинделя;

T_2^2, T_1 – постійні часу опори;

η – абсолютна величина дійсної частини найближчого до уявної осі кореня характеристичного рівняння системи;

K_{zco} – статична податливість ГСО;

m_0 – маса шпинделя, приведена до центра передньої опори;

$A_1 \dots A_3$ – конструктивні параметри опори, які визначаються так:

$$A_1 = l_a (10,64 \cdot \varphi_k + 1,2); \quad A_2 = D \left(\frac{2\pi}{n_k} - \varphi_k \right) + l_a \varphi_k,$$

$$A_3 = \left[\frac{D^2}{2} \left(\frac{\pi \varphi_k}{n_k} - \frac{\varphi_k^2}{2} \right) + 8l_a^2 \right] \left[D l_a \left(\frac{2\pi}{n_k} - \varphi_k \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

де φ_k – кутовий розмір кармана у тангенціальному напрямку опори;

n_k – кількість карманів ГСО.

Значення радіальної жорсткості опори j_p отримано за припущення, що відносний ексцентриситет $\varepsilon \leq 0,35$ та $l_k = 8l_a$, $\varphi_k = 2\pi/n_k - \varphi_k$, де l_k – довжина кармана в аксіальному напрямку підшипника; φ_k – кутовий розмір тангенціальної перемички опори.

Передавальну функцію радіальної ГСО без урахування стискання рідини можна представити у вигляді [5]

$$W_{zco}(s) = \frac{\Delta h(s)}{\Delta P(s)} = \frac{K_{zco}}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1},$$

де $\Delta h(s)$, $\Delta P(s)$ – перетворення по Лапласу відхилень зазору і силового навантаження на опорну шийку шпинделя відповідно.

Характеристичне рівняння системи буде $T_2^2 s^2 + T_1 s + 1 = 0$. Замкнена радіальна ГСО являє собою коливальну ланку другого порядку [5], для якої виконується умова $T_1 < 2T_2^2$.

Корені характеристичного рівняння системи шукаються у вигляді [6]

$$s_{1,2} = -\alpha_t \pm j\beta_t, \text{ де } \alpha_t = T_1/(2T_2^2); \quad \beta_t = (T_1^2 - 4T_2^2)^{\frac{1}{2}}/(2T_2^2).$$

Покладемо $\varepsilon \rightarrow 0$, що має місце для прецизійних шпиндельних вузлів. Тоді для забезпечення умови $j_p \rightarrow \max$ справедливо співвідношення $p_k/p_H = 0,5$ [7], де p_k – тиск у кармані ГСО. З урахуванням зроблених припущень, нехтуючи стисканням рідини, отримаємо формули для знаходження постійних часу:

$$T_1 = 2h_p B_2 K_{zco}, T_2^2 = m_o K_{zco}, \quad (3)$$

$$\text{де } K_{zco} = \frac{\delta_0 B_1}{27\pi D l_a p_H};$$

B_1, B_2 – експлуатаційні параметри регульованої ГСО, які визначаються так:

$$B_1 = 1 + \frac{R_k}{R_\partial}, B_2 = \pi a \left(20,5 - \frac{9D}{B_1} \right), \quad (4)$$

де R_k – гідравлічний опір витіканню рідини з кармана ГСО;

R_∂ – гідравлічний опір вхідного дроселя.

Опір R_∂ може бути визначений з рівняння нерозривності потоку рідини у вигляді $R_\partial = 0,5 p_H n_k / Q_p$. Скориставшись електричними аналогами гідравлічних величин, представимо опір R_k регульованого підшипника у вигляді паралельного з'єднання окремих опорів тангенціальних R_τ і аксіальних R_a перемичок (рис. 1).

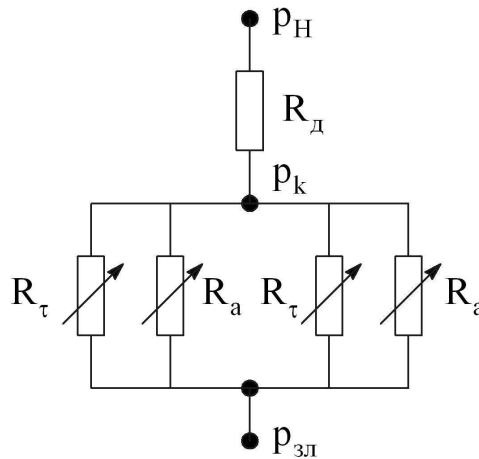


Рис. 1. До визначення гідравлічного опору R_k

При $\varepsilon=0$ можна записати $\frac{1}{R_k} = \frac{2}{R_\tau} + \frac{2}{R_a}$. Для плоскопаралельної щілини при ламі-

нарному русі рідини гідравлічний опір обчислюється у вигляді [4] $R = 12\mu b / (h_n^3 L_n)$, де b – ширина перемички кармана; h_n – товщина мастильної плівки; L_n – периметр витікання рідини з кармана.

З урахуванням вищенаведеного, після перетворень отримаємо

$$R_k = \frac{3\mu l_a D A_4}{2n_k \delta_0^3}, \quad (5)$$

де A_4 – конструктивний параметр опори, що обчислюється так

$$A_4 = \Phi_k \left[9l_a^2 + \frac{D^2 \Phi_k}{16n_k^2} (\Phi_k + 2n_k \varphi_k) \right]^{-1},$$

де $\Phi_k = 2\pi - n_k \varphi_k - n_k \varphi_m$;

φ_m – кут, що визначає положення внутрішнього паза гідростатичної втулки у тангенціальному напрямку підшипника.

Математичний опис параметрів оптимізації x_i представлений у вигляді подвійних нерівностей вигляду $x_{min} \leq x_i \leq x_{max}$.

Враховуючи математичний опис функції цілі (1), параметрами оптимізації є p_H , l_a , D , δ_0 , μ , $n_{ш}$, m_0 , φ_k . Параметри $A_1...A_4$ розраховуються при попередньо визначених оптимальних значеннях величин D , l_a і заданих значеннях n_k , φ_m . Зі встановлених значень параметрів $A_1...A_4$ визначаються оптимальні значення кута φ_k . За наявності декількох можливих оптимальних значень φ_k для окремої функції цілі приймається більше значення φ_k з міркувань збільшення площі опорної поверхні ГСО.

Значення параметрів n_k , φ_m обумовлюються конструктивними особливостями та технологією виготовлення гідростатичної втулки спеціальної конструкції. Розміри внутрішнього паза гідростатичної втулки лімітуються вимогами до її втомної міцності та необхідністю відводу потоку рідини у тангенціальному напрямку підшипника. Рекомендується приймати φ_m у межах $3...5^\circ$.

Функції цілі η_0 , t_n залежать від величин h_p , Q_p . Тому, враховуючи значимість величин h_p , Q_p , екстремальні значення η_0 , t_n визначалися при попередньо встановлених для функції цілі h_p оптимальних величинах параметрів μ , φ_k , l_a , D , δ_0 . Параметрами оптимізації, що варіюються, при визначенні η_0 , $t_n \in m_0$ і p_H .

У разі потреби пошуку оптимального значення параметра n_k в алгоритмі оптимізації під час розрахунку параметрів $A_2...A_4$, B_1 , B_2 потрібно організувати додатковий цикл варіювання за n_k , враховуючи співвідношення між n_k і φ_k у вигляді $\varphi_k = 2\pi/n_k - 1,6 \cdot l_a/D - \varphi_m$.

У загальному випадку задача оптимізації, враховуючи нелінійність функцій цілі, може бути розв'язана методами нелінійного програмування. Проте, якщо проаналізувати нелінійності присутні у показникових функціях, то можна бачити, що у логарифмічних координатах функції цілі набувають лінійної залежності від параметрів оптимізації. Для зручності логарифмування втрати потужності P_p розділимо на втрати, обумовлені тертям P_μ (перший доданок у відповідному виразі (1)) та втрати від прокачування робочої рідини крізь опору P_q (другий доданок у виразі (1)).

Тоді у логарифмічних координатах функції цілі та параметричні обмеження набувають вигляду: $\lg(f(x_1, x_2, \dots, x_k)) = \lg(a) + y_1 \cdot \lg(x_1) + y_2 \cdot \lg(x_2) + \dots + y_k \cdot \lg(x_k)$, $\lg(x_{\min}) \leq \lg(x) \leq \lg(x_{\max})$.

Лінійна постановка задачі дозволяє використовувати методи лінійного програмування. Для багатокритеріальної оптимізації шпіндельних вузлів найбільш доцільно використовувати оптимізаційні алгоритми на основі методу ЛП_т пошуку, який є детермінованим аналогом методу випадкового пошуку [8].

Основою зазначеного методу є зондування n -вимірному простору певною кількістю пробних точок, що належать до ЛП_т розподілу, алгоритм розрахунку якого наведений на рис. 2.

Для пошуку екстремуму функції зазвичай використовують $N = 2^k$ точок, де k – кількість параметрів, що оптимізуються [9]. Номер точки переводиться у бінарну систему у вигляді k координат. Для кожної координати записують дріб вигляду $\frac{f_1}{2^1} * \frac{f_2}{2^2} * \dots * \frac{f_m}{2^m}$, де $1, 2, \dots, m$ – розряди номера точки; $f_1, f_2, \dots, f_m$ – табличні чисельники.

Далі обчислюють значення знаменників 2^m і чисельників за табличними даними [10]. Застосовуючи булеву операцію розбіжності, знаходяться значення виразу $f = f_1 * f_2 * \dots * f_m$, де $*$ – булевий оператор розбіжності (виключне АБО).

Отриманий дріб виду $f/2^m$ переводиться у десяткову систему числення. При цьому знаменник залишається тим самим, переводиться лише число f . Обчислене значення

використовують для знаходження положення точки за однією координатою з заданою розмірністю $A_i = A_{min} + \frac{f}{2^m} \cdot (A_{max} - A_{min})$, де A_{min} , A_{max} – мінімальне та максимальне значення діапазону варіювання параметра оптимізації відповідно.

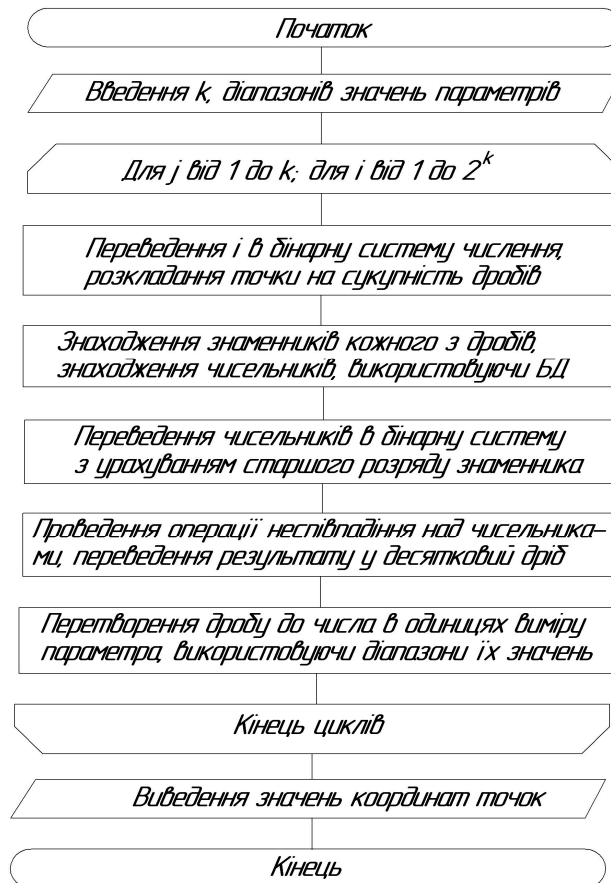


Рис. 2. Алгоритм розрахунку координат точок ЛПт послідовності для зондування багатовимірного простору

Аналогічним чином визначають k координат 2^k точок ЛПт розподілу.

Загальний алгоритм багатокритеріальної оптимізації шпиндельного вузла на регульованих ГСО на основі ЛПт пошуку (рис. 3) реалізований засобами пакета MathCAD.

Як приклад розглянемо оптимізацію параметрів шпиндельного вузла токарного верстата УТ16А на чотирьохкарманих радіальних ГСО.

Простір функціональних та параметричних обмежень представлений у вигляді: $j_p \geq 5 \cdot 10^8$, Н/м; $h_p \geq 10^7$, Н·с/м; $P_\mu \leq 750$, Вт; $P_q \leq 1000$, Вт; $Q_p \leq 7 \cdot 10^{-5}$, м³/с; $\eta_0 \geq 0,2$; $t_n \leq 0,1$ с; $1 \leq p_H \leq 4$, МПа; $0,003 \leq l_a \leq 0,03$, м; $0,03 \leq D \leq 0,2$, м; $5 \cdot 10^{-6} \leq \delta_0 \leq 50 \cdot 10^{-6}$, м; $0,5 \cdot 10^{-3} \leq \mu \leq 2 \cdot 10^{-2}$, Па·с; $0,35 \leq \varphi_k \leq (2\pi/n_k - 0,2)$, рад.; $500 \leq n_{ш} \leq 10000$ хв⁻¹; $10 \leq m_0 \leq 30$, кг; $n_k = 5$; $\varphi_m = 7,85 \cdot 10^{-2}$ рад.

За алгоритмом (рис. 3) розраховуються координати N точок ($N = 2^8 = 256$) зондування простору на основі ЛПт послідовностей та обчислюються значення цільових функцій. Обґрунтованість вибору кількості пробних точок перевірялася розрахунком цільових функцій при значенні $N=2^{k+1}$. При цьому різниця значень цільових функцій знаходилася у межах до 4%.

У результаті розрахунку за алгоритмом (рис. 3) отримано сім номерів точок при екстремальному значенні кожної функції цілі ($j_p \rightarrow \max$; $h_p \rightarrow \max$; $P_\mu \rightarrow \min$; $P_q \rightarrow \min$; $Q_p \rightarrow \min$; $t_n \rightarrow \min$; $\eta_0 \rightarrow \max$).

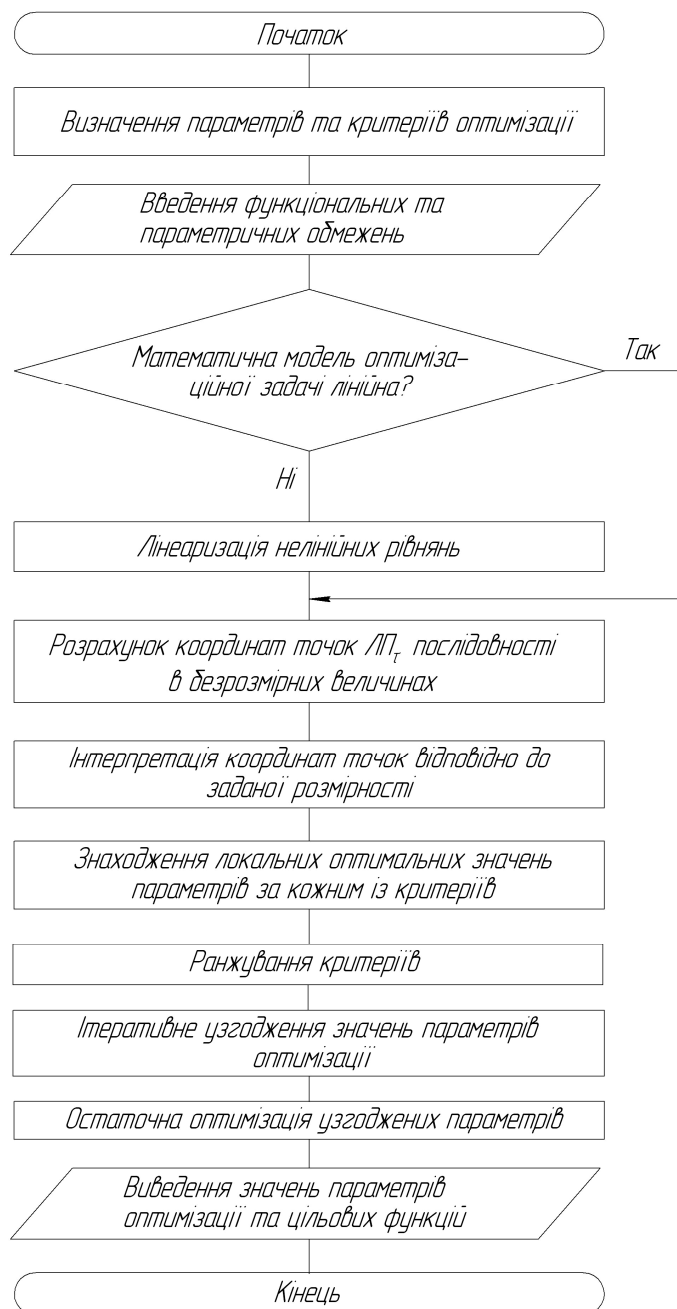


Рис. 3. Алгоритм багатокритеріальної оптимізації шпиндельних вузлів

Далі постає задача ітеративного узгодження отриманих оптимальних значень. Для цього попередньо здійснювалося ранжування для кожної функції цілі, враховуючи вплив на вихідну точність обертання шпиндельного вузла. Як видно з математичної моделі оптимізаційної задачі, критерії t_n , η_0 , що характеризують динамічну якість регульованої ГСО, є залежними від інших функцій цілі t_n , $\eta_0 = f(h_p, Q_p)$. Тому ранжуванню піддавалися тільки некорельовані (незалежні) критерії оптимізаційної задачі (j_p , h_p , P_μ , P_q , Q_p).

Для визначення значимості критеріїв застосовано метод рангової кореляції [11], який ґрунтується на систематизації апріорної інформації. Для формування апріорної інформації було здійснено опитування фахівців у галузі гідроприводу верстатів. Ступінь узгодженості думок спеціалістів оцінювалася коефіцієнтом конкордації [11], значимість якого перевірялася на основі χ^2 критерію Пірсона. Значимість коефіцієнта кон-

кордації дозволяє отримати ранжований ряд, який наведено у порядку зменшення впливу факторів

$$j_p \rightarrow h_p \rightarrow P_\mu \rightarrow P_q \rightarrow Q_p \rightarrow t_n \rightarrow \eta_0. \quad (6)$$

Ітеративне узгодження полягає у пошуку значень локальних параметрів оптимізації, які б задовольняли умовам простору функціональних та параметричних обмежень при одночасному забезпеченні екстремуму функцій цілі за ранжованим рядом (6). Відповідно до методики [9] пошук спочатку здійснювався в околицях точки $N=16$ з екстремальним значенням j_p у чотирьохвимірному паралелепіпеді зі сторонами $0,95 \cdot x_j \leq x_j \leq 1,05 \cdot x_j$, де $x_j \in (p_H, D, l_a, \delta_0)$. У результаті зондування простору параметрів оптимізації x_j розраховувалися нові значення критеріїв ряду (6), починаючи з h_p у порядку їх значимості. У результаті отримали покращену точку $16'$ з набором параметрів оптимізації x'_j .

Далі пошук відбувався в околицях точки $N=81$ з екстремальним значенням демпфування h_p у прямокутнику зі сторонами $0,95 \cdot x_h \leq x_h \leq 1,05 \cdot x_h$, де $x_h \in (\mu, \varphi_k)$, при незмінному наборі параметрів оптимізації x'_j . Аналогічним чином ітерації проводилися за іншими критеріями ряду (6) з урахуванням рангу.

У результаті остаточної оптимізації отримали покращену точку N' з набором оптимальних параметрів: $\mu = 0,015$ Па·с; $p_H = 2$ МПа; $D = 0,16$ м; $\delta_0 = 11 \cdot 10^{-6}$ м; $l_a = 0,0185$ м, $\varphi_k = 80^\circ$, $m_o = 10,25$ кг.

У ході математичного моделювання оптимізаційної задачі було встановлено, що значення частот обертання шпинделя у діапазоні від 500 хв^{-1} до 1700 хв^{-1} задовольняють всі критеріальні обмеження. Під час роботи на більш високих частотах для зменшення втрат потужності необхідно застосовувати малов'язкі мастила та збільшувати регульоване значення зазору δ_0 .

Висновки. Встановлено оптимальні значення параметрів оптимізації радіальних шпиндельних гідростатичних опор регульованого типу токарного верстата, що дозволило підвищити технічний рівень проектних рішень.

Розроблено науково-обґрунтовану методику багатокритеріальної оптимізації шпиндельних вузлів на регульованих гідростатичних опорах, що дозволяє встановити оптимальні конструктивні та експлуатаційні параметри підшипників з метою забезпечення опорними вузлами точнісних і швидкісних характеристик шпиндельних вузлів.

Перспективним напрямом подальших досліджень є оптимальне проектування гідравлічних опор шпинделя комбінованого типу, зокрема гідростатодинамічних, з метою підвищення швидкохідності шпиндельних вузлів при одночасному забезпеченні високої точності обертання.

Список використаних джерел

1. *Гидростатические опоры роторов быстроходных машин* / [Артеменко Н. П., Чайка А. И., Доценко В. Н. и др.] ; под ред. Н. П. Артеменко. – Х. : Основа, 1991. – 197 с.
2. *Артеменко Н. П.* Некоторые результаты экспериментальных исследований динамики роторов на гидростатических подшипниках / Н. П. Артеменко, В. Н. Доценко, А. И. Зубов // Исследование и проектирование гидростатических опор и уплотнений быстроходных машин : сб. статей / под ред. Н. П. Артеменко. – 1973. – Вып. 1. – С. 90-100.
3. *Струтинський В. Б.* Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах : монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. – 464 с.
4. *Бушуев В. В.* Гидростатическая смазка в станках / В. В. Бушуев. – М. : Машиностроение, 1989. – 176 с.
5. *Ингерт Г. Х.* Динамические характеристики гидростатических опор / Г. Х. Ингерт, Б. Г. Лурье // Станки и инструмент. – 1972. – № 9. – С. 5-7.

6. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К. : Либідь, 1997. – 544 с.

7. Детали и механизмы металлорежущих станков / [Каминская В. В., Левина З. М. и др.] ; под ред. Д. Н. Решетова. – М. : Машиностроение, 1972. – 519 с. – (Шпиндели и их опоры, механизмы и детали приводов; т. 2).

8. Пуш А. В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / А. В. Пуш. – М. : Машиностроение, 1992. – 288 с.

9. Соболев И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболев, Р. Б. Статников. – М. : Наука, 1981. – 110 с.

10. Соболев И. М. Многомерные квадратные формулы и функции Хаара / И. М. Соболев. – М. : Наука, 1969. – 288 с.

11. Душинский В. В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении / В. В. Душинский, Е. С. Пуховский, С. Г. Радченко. – К. : Техника, 1977. – 176 с.

УДК 621.9

М.И. Михайлов, канд. техн. наук

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь

ВЛИЯНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СМЕННЫХ МНОГОГРАННЫХ ПЛАСТИН НА КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ С КОРПУСОМ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

М.І. Михайлов, канд. техн. наук

Гомельський державний технічний університет ім. П. О. Сухого, м. Гомель, Білорусь

ВПЛИВ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІННИХ БАГАТОГРАННИХ ПЛАСТИН НА КОНТАКТНІ НАПРУГИ З КОРПУСОМ ЗБІРНОГО ІНСТРУМЕНТА

Mikhail Mikhailov, PhD in Technical Sciences

Gomelski Technical University

INFLUENCE OF STATISTICAL PARAMETERS OF REMOVABLE MANY-SIDED PLASTINS ON PIN TENSIONS WITH THE CORPS OF COLLAPSIBLE INSTRUMENT

Предлагается методика формирования статистических параметров опорных контактных поверхностей сменных многогранных пластин. Дано расчет контактных напряжений с учетом статистических параметров пластин.

Ключевые слова: сменные многогранные пластины, статистические параметры, контактное напряжение.

Пропонується методика формування статистичних параметрів опорних контактних поверхонь змінних багатограних пластин. Дано розрахунок контактної напруги з відліком статистичних параметрів пластин.

Ключові слова: змінні багатогранні пластини, статистичні параметри, контактна напруга.

Influence of statistical parameters of removable many-sided plastins on pin tensions with the corps of collapsible instrument.

Methodology of forming of statistical parameters of pin underlayments of removable many-sided plastins is offered Calculation of pin tensions with an account of statistical parameters of plestins.

Keywords: removable many-sided plates, statistical parameters, pin tensions

Изучение распределения напряжений в режущей части резцов, в зоне непосредственного контакта стружки с передней и заготовки с задней поверхностями или за их пределами усложняется малыми размерами зоны контакта. Поэтому для определения напряжений в указанных областях исследователи применяли поляризационно-оптический метод [1-6], с помощью которого было найдено напряженное состояние в области контакта стружки с передней поверхностью (Г. Андреев, В. Коттвинкель, Е. Усуи, Х. Такеяма, Х. Чандрашекаран, Д. Капур, М. Полетика, И. Примус и др.) [7-13].

В качестве обрабатываемого материала использовали свинец, а модель резца изготавливали из оптически активного материала. На основании проведенных исследований были уточнены эпюры нормальных и касательных напряжений в контактной

зоне и оценено влияние на них различных факторов, а также выведены математические зависимости распределения контактных напряжений по передней поверхности лезвия.

Изучению распределения напряжений в режущей части инструмента посвящены работы Э. Кокера, Л. Файлона, А. Бетанели, М. Утешева, В. Сенюкова, И. Примуса, Г. Хаета, Т. Лоладзе и др. [12-19].

Из первых работ, посвященных аналитическому изучению прочности лезвия инструмента, можно отметить работу Ф. Р. Арчибальда [20], в которой автор определил значения и характер распределения напряжений в режущем клине, используя для этой цели общий метод определения напряжений, предложенный С. Н. Тимошенко [21]. При разработке математической модели, описывающей напряжённое состояние режущего клина, были приняты следующие допущения:

а) распределение нормальных напряжений по длине контакта стружки с передней поверхностью осуществляется по закону треугольника;

б) коэффициент трения в различных точках передней поверхности постоянный.

В качестве теории предельного напряженного состояния Ф. Р. Арчибальд принял теорию Губера – Мизеса – Генки.

В последние годы для определения напряжений в режущем клине исследователи все шире применяют математические методы, требующие применения вычислительной техники [22-31]. К первым работам этого направления относятся исследования В. А. Остафьева [22-24], в которых разработана методика расчета прочности режущей части инструмента, позволяющая учитывать не только контактные нагрузки на передней поверхности инструмента, но и неравномерность температурного поля на ней.

Для расчета сложного напряженного состояния автор применил метод конечных элементов, согласно которому любой по форме инструмент можно разбить на элементы и рассчитать напряженное состояние каждого из них. В. А. Остафьев исследовал напряженно-деформированное состояние цельного инструмента и мало уделил внимания определению влияния отдельных конструктивных элементов сборных инструментов на их прочность.

В работах [25-31] рассматривается возможность использования метода конечных элементов (МКЭ) для прогнозирования разрушения сменных многогранных пластин (СМП) при различных условиях работы.

При моделировании СМП разбивали на ряды восьмиузловых изопараметрических элементов, размеры которых уменьшались по мере приближения к вершине резца. Кроме силы резания, на СМП действуют сила зажима, возникающая в узле крепления, а также высокая температура зоны резания, которая учитывалась в узлах конечно-элементной сетки для различных условий резания. По нормальным и касательным напряжениям, полученным в результате расчётов в узлах конечно-элементной сетки, можно определить главные напряжения, а затем – эквивалентные напряжения, т.е. одноосные растягивающие напряжения, соответствующие рассматриваемому сложному напряжённому состоянию.

Положительное направление смещения пластины соответствует раскрытию стыка между СМП и державкой инструмента. Для упрощения расчётов были приняты следующие допущения: абсолютно жёсткие СМП (если можно принять жёсткость режущей пластины как минимум на порядок больше жёсткости стыка); все деформации происходят в результате смещения в стыке; незначительные углы поворота СМП; постоянный коэффициент жёсткости стыка.

Перечисленные допущения, естественно, уменьшают точность расчётов, но позволяют на основе прочностных расчётных зависимостей оценить различные конструкции сборных режущих инструментов уже на стадии проектирования.

Для определения НДС в работе [29] был использован хорошо известный в классической теории упругости метод наложения решений. Сначала определяли НДС в режущем элементе как в ограниченной области бесконечного клина под действием нагрузки, моделирующей силы резания и силы закрепления. Это решение (и определяемое им НДС) названо основным. Понятно, что такое же НДС будет возникать в режущем элементе, если по его контактным опорной и упорной поверхностям будут реализованы силовые граничные условия, распределение которых задается самим решением для бесконечного клина. Эти граничные условия есть не что иное, как нормальные и касательные напряжения в бесконечном клине, действующие на линиях, ограничивающих вырезанный режущий элемент. Эти напряжения были названы теоретическими граничными условиями. В общем случае такие граничные условия не совпадают с теми реальными, которые имеет режущий элемент в сборном инструменте.

Следовательно, для получения общего решения на основное решение следует наложить поправочное, которое бы учитывало реальные граничные условия закрепления.

В целом можно сделать следующие выводы: выбранное упрощенное решение дает достаточно верное НДС в режущем клине за пределами зоны контакта и позволяет достаточно точно определить максимальное растягивающее напряжение на передней поверхности, являющееся одним из опасных с точки зрения прочности.

Однако, предлагаемая методика не позволяет учесть статистические условия контакта режущего элемента, а значит оптимизировать конструктивные и технологические параметры опорных поверхностей. Кроме того, на НДС оказывает влияние жесткость сборного инструмента, которая, в основном, обусловлена жесткостью системы крепления СМП.

В качестве режущих элементов сборного инструмента используются пластины, которые нашли широкое применение в промышленности (форм 0139А, 0141А, 01176404, 03171405, 10171405 и др.). На рисунке 1 представлены профили пластин: номинальные (сплошные линии) и возможные действительные (штриховые и штрихпунктирные линии).

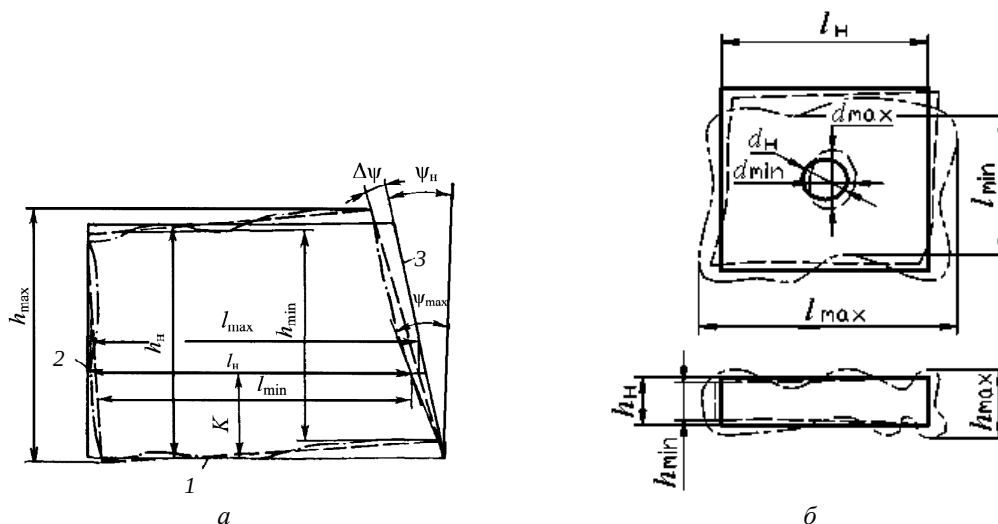


Рис. 1. Эскиз форм режущих пластин: а – 0139А, 0141А; б – 03171405

Стабильность режущих пластин форм 0139А, 0141А в поперечном сечении исследовалась по следующим параметрам: отклонению от номинального значения ширины l_n пластины на расстоянии $K = 3,5$ мм от ее опорной грани и действительному значению угла наклона грани 3 к вертикали. Номинальное значение угла ψ_n было определено по ГОСТу 2209-82, а номинальное значение ширины l_n рассчитано по размерам из этого ГОСТа.

Кроме того, были проведены исследования контурных площадей касания базовых опорных поверхностей пластин с эталонной плоскостью и определены отклонения от плоскостности этой грани по выделенным зонам.

Пластины форм 01176404, 03171405, 10171405 были объединены в три партии (I, II и III) по 80 штук в каждой. Для измерения высоты пластин в вершинах было изготовлено специальное приспособление (рисунок 2). Остальные параметры измеряли на микроскопе ММИ-2.

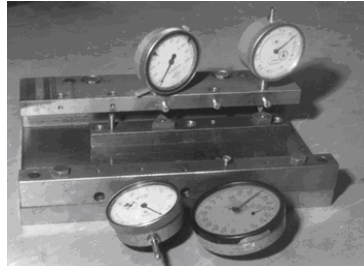


Рис.2. Приспособление для измерения высоты h в вершинах пластин

Контурные площади касания базовых граней пластин исследовались по методике тонких окрашивающих покрытий (как наиболее простой и достаточно точной) [32]. При этом использовался контрольный образец, плоскость которого (эталонная) напылялась окрашивающим веществом.

В качестве образца использовалась пластина зеркального стекла, эталонными плоскостями в которой служили ее шлифованные и полированные грани. При соприкосновении обезжиренной твердосплавной пластины с эталонной плоскостью образца, покрытой угольной пленкой, образовывался четкий затемненный отпечаток контурной площади касания, который был сфотографирован, а площадь его измерена.

Для упрощения анализа контурных площадей касания и сопоставления результатов использовалось понятие относительной контурной площади касания, т. е.

$$S_{ij} = S'_{ij} / S_{ni},$$

где S_{ij} , и S'_{ij} – соответственно относительная и действительная контурные площади касания i -й грани j -пластины; S_{ni} – номинальная площадь i -й грани.

При сравнении эмпирических и теоретических распределений параметров по критерию Пирсона все графики согласуются с теоретическими кривыми нормального распределения с вероятностью согласия 0,05.

Для более полного анализа контурных площадей касания граней пластин были построены аналитические формы касания с заданной вероятностью (рисунок 3, а–и). При построении этих форм номинальная площадь разбивалась на элементарные площадки, например для наглядности в 1 мм^2 . Каждая элементарная площадка обрабатывалась статистически и по полученным гистограммам определялись элементарные площадки, имеющие контакт с заданной вероятностью [33].

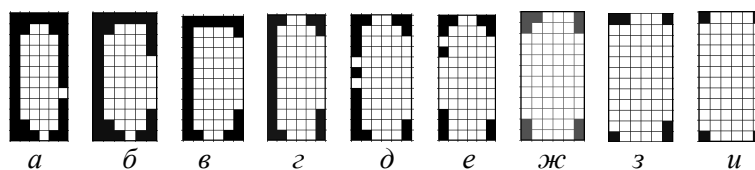


Рис.3. Формы расчетных контурных площадей касания с заданными вероятностями: 0,1 (а); 0,2 (б); 0,3 (в); 0,4 (г); 0,5 (д); 0,6 (е); 0,7 (ж); 0,8 (з); 0,9 (и)

Задаваясь вероятностями, определялись номера площадок, имеющих контакт, по которым формировалась контурная площадь касания с заданной вероятностью.

Как видно на рисунке 3, *a–и* для обеспечения надежности крепления режущих пластин необходима дополнительная обработка поверхности этой грани.

Формы расчетных контурных площадей касания с заданной вероятностью для четырехгранных пластин были получены по вышеприведенной методике и представлены на рисунке 4.

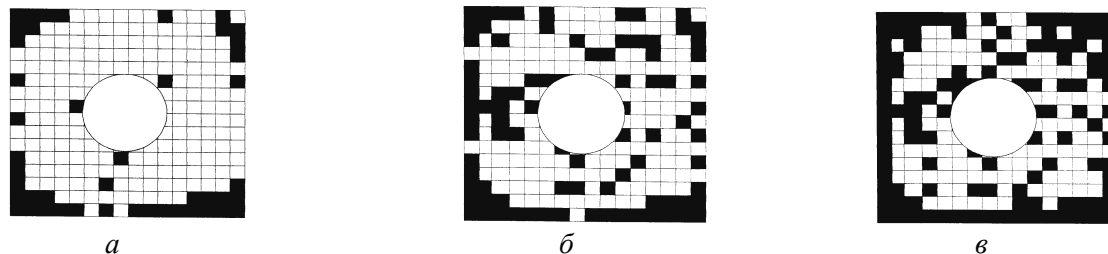


Рис.4. Формы расчетных площадей касания пластин с заданными вероятностями:
 $a - 0,5$; $б - 0,4$; $в - 0,25$

Анализ расчетных значений контурных площадей касания опорных граней пластин позволяет сделать вывод, что они отличаются от номинальных и составляют в среднем 34,7 % и не превышают 43,5 % у четырехгранных пластин.

Для более полного представления состояния поверхности опорной грани СМП проведен их микроскопический анализ. На рисунке 5 представлена микрофотография с увеличением в 500 раз. На приведенной фотографии можно видеть, что поверхность опорной грани имеет неравномерную топографию. Наблюдаются углубления больших размеров на фотографии в виде темных пятен. Картина поверхности подтверждает ранее полученные данные по исследованию площадей опорных граней пластин.

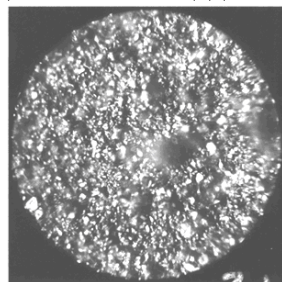


Рис. 5. Топография опорной поверхности СМПх500

На поверхности базовой грани пластины имеются углубления, которые наблюдаются и вблизи режущих кромок, где контакт пластины с опорной поверхностью державки резца особо влияет на жесткость инструмента.

Исследование плоскостности опорных граней пластин производилось по результатам измерения отклонений реальной поверхности от прилегающей плоскости.

По результатам измерений были построены графики распределения значений отклонений от прилегающей плоскости в трех рассматриваемых зонах: первая зона располагалась на расстоянии до $1/3$ длины пластины от режущей кромки (рисунок 6, *a*), вторая зона – от $1/3$ до $2/3$ длины пластины (рис. 6, *б*) и третья зона – от $2/3$ до $1,0$ длины пластины (рисунок 6, *в*).

Анализ графиков позволил заключить, что экспериментальные распределения, в основном, согласуются с теоретическими кривыми нормального распределения, кроме пластин партии II. В зоне 2 пластин партии II (рисунок 6, *б*) распределение отклонения от плоскостности подчиняется экспоненциальному закону.

Значения отклонений от прилегающей плоскости базовых граней трех-, четырех-, пятигранных пластин анализировали по схеме, представленной на рисунке 7 в определенных зонах по точкам.

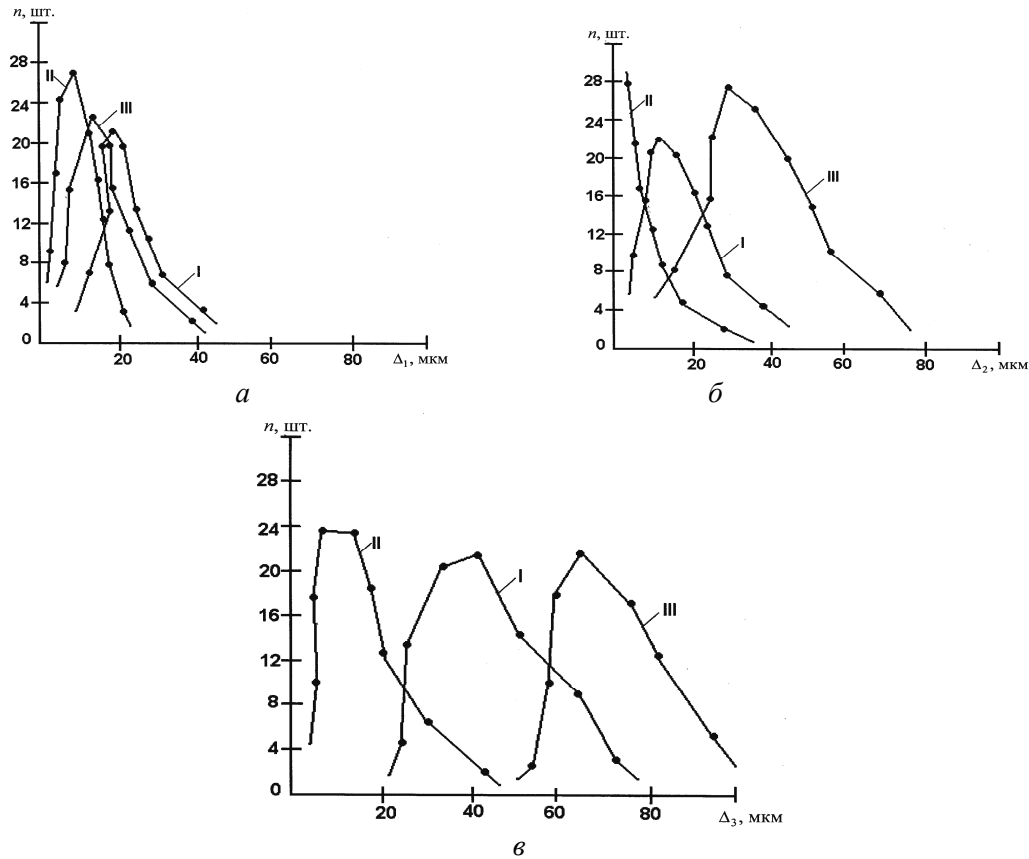


Рис. 6. Графики распределения отклонения от плоскостности опорной грани режущих пластин в выделенных зонах: а – на расстоянии 1/3 длины пластины; б – от 1/3 до 2/3; в – свыше 2/3

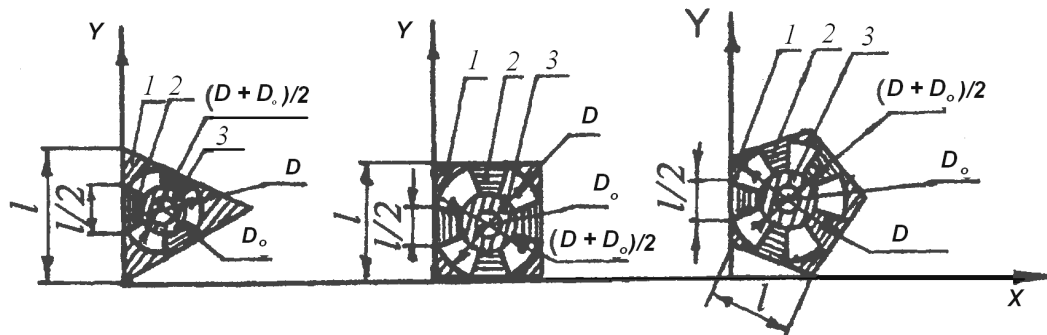


Рис. 7. Схемы расположения зон анализа отклонений от прилегающей плоскости базовых граней пластин: 1, 2, 3 – номера зон

По известным методикам выбрали наиболее согласующиеся законы распределения исследуемого параметра. Кроме того установлено, что значения отклонений от прилегающей плоскости базовых граней пластин трех партий подчиняются закону Гаусса на 55,6 %, Пуассона – 33,3 %, Максвелла – 11,1 %.

Кроме того, по полученным данным построили гистограммы распределения значений отклонений от прилегающей плоскости для каждой элементарной площадки.

По гистограммам с заданной вероятностью находили максимальное, минимальное и рассчитывали среднее значения отклонений от плоскостности.

Предварительно, разбив диапазоны численных значений на интервалы, получили топографии опорной грани с заданной вероятностью.

На рисунке 8 представлены топографии поверхностей опорной грани четырехгранных пластин, причем в первом ряду представлены расчетные топографии по максимальным значениям, в среднем – по средним значениям, а в нижнем – по минимальным.

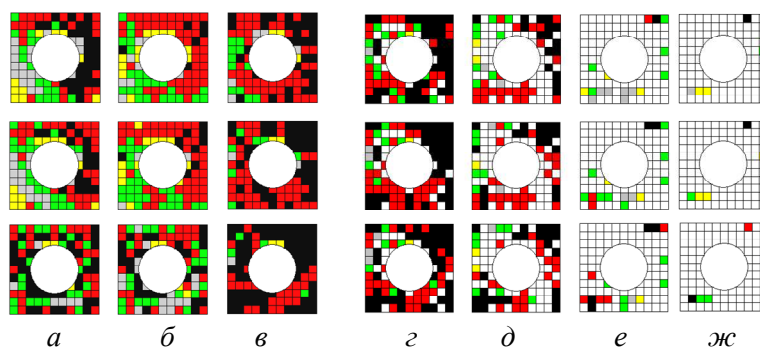


Рис. 8. Топографии опорной поверхности базовой грани четырехгранных пластин с заданной вероятностью: 0,077 (а), 0,154 (б), 0,23 (в), 0,31 (г), 0,38 (д), 0,46 (е), 0,54 (ж)

Используя расчетную схему, представленную на рисунке 9, при условии действия сил резания, полученных для $V=115\text{ м/мин}$, $S=0,5\text{ мм/об}$, $t=3\text{ мм}$, были рассчитаны контактные напряжения между СМП и корпусом инструмента.

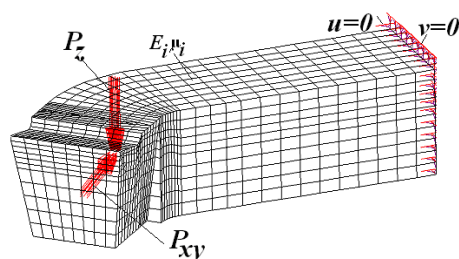


Рис. 9. Расчетная модель резца

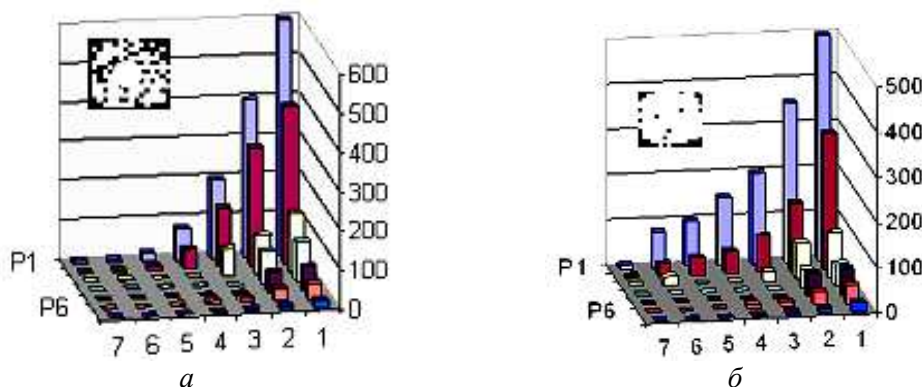


Рис. 10. Диаграммы контактных напряжений на опорных поверхностях четырехгранных СМП с вероятностью 0,25 (а) и 0,5 (б)

Как видно на рисунке 10 с увеличением площади контакта опорной поверхности в 2,5 раза изменилось распределение контактных напряжений и максимальные значения уменьшились в 1,2 раза.

Список использованных источников

1. Андреев Г. С. Исследование напряжений в рабочей части резца на поляризационно-оптической установке с применением киносъемки / Г.С. Андреев // Вестник машиностроения. – 1958. – № 5. – С. 51–54.
2. Андреев Г. С. Напряженное состояние режущей части резца при периодическом резании / Г.С. Андреев // Прочность режущего инструмента: сб. ст. – М.: ВНИИ, 1969. – С. 12–14.
3. Андреев Г. С. Поляризационно-оптическое изучение процесса резания с применением киносъемки / Г. С. Андреев, В.М. Захарцева // Передовой научно-технический и производственный опыт: сб. ст. – М.: ВИНТИ, 1958. – С. 21–24.
4. Полетика М. Ф. Исследование процесса резания поляризационно-оптическим методом / М. Ф. Полетика, М.Х. Утешев // Изв. Томск. политехн. ин-та. – 1964. – Т. 114. – С. 748–750.

5. Полетика М. Ф. Поляризационно-оптическая установка для исследования процесса резания / М. Ф. Полетика, М.К. Утешев. – М.: ГОСИНТИ, 1963 – 22 с.
6. Бетанели А. И. Приспособление для поляризационно-оптического исследования напряжений в режущей части инструмента в процессе резания / А.И. Бетанели // Тр. Грузин. политехн. ин-та. – Тбилиси, 1965. – № 3. – С. 16–21.
7. Гениатулин А. М. Анализ экспериментальных методов изучения деформаций элементов сборных режущих инструментов / А. М. Гениатулин. – Курган, 1984. – 12 с. – Деп. в ВНИИТЭРМ 20.12.84, № 348.
8. Kottwinkel, W. Untersuchungen an schneidenden Werkzeugen Hilfe der Spannungsoptik / W. Kottwinkel // Industrie Anzeiger. – 1957. – № 36. – S. 75–80.
9. Usui, E. Protoplastic Analysis of Machining Stresses / E. Usui, H. Takejama // Trans. ASME. 1960. Ser. B, Vol. 82. P. 140–146.
10. Chandmsekaran, H. Photoplastic Analysis of Toolchip Interface Stresses / H. Chandmsekaran, D. Кароср // Trans. of ASME. – 1966. – Ser. B. Vol. 87. – P. 98–101.
11. Полетика М. Ф. Контактные напряжения на передней поверхности резца / М. Ф. Полетика // Прочность режущего инструмента: сб. ст. – М.: ВНИИ, 1967. – С. 22–26.
12. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М. Ф. Полетика. – М.: Машиностроение, 1969. – 196 с.
13. Primus, J. F. Spezifische Beanspruchungen in den Kontaktzonen von Drehwerkzeugen und ihr Einfluss auf Spannbildung und Verschleiss / J. F. Primus // Industrie Anzeiger. – 1970. – № 24. – S. 17–21.
14. Полетика М.Ф. Аналитические методы расчета прочности режущей части инструмента / М.Ф. Полетика, М.Х. Утешев // Высокопроизводительное резание в машиностроении: сб. ст. – М.: Наука, 1966. – С. 4–10.
15. Бетанели А. И. Хрупкая прочность режущей части инструмента / А.И. Бетанели. – Тбилиси: ГПИ, 1969. – 248 с.
16. Рылин А. В. Анализ напряженного состояния лезвия инструмента / А. В. Рылин, В. А. Сенюков, А. В. Серов // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. – 1985. – № 7. – С. 117–120.
17. Утешев М. Х. Некоторые результаты исследования напряженного состояния режущей части инструмента при помощи лазера / М. Х. Утешев, В. А. Сенюков // Прочность режущего инструмента. – М.: ВНИИ, 1969. – С. 51–53.
18. Primus, J.F. Ermittlung der Spannungsverteilung auf der Spanfläche von Drehwerkzeugen bei der Stahlzerspannung / J.F. Primus // Industrie Anzeiger. – 1971. – № 6. – S. 140–146.
19. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
20. Archibald, F. R. Analysis of the Stresses in a Cutting Enge / F. R. Archibald // Trans. of ASME. – 1956. – № 6. – P. 47–52.
21. Тимошенко С. Н. Теория упругости / С. Н. Тимошенко. – М.: ОНТИ, 1937. – 420 с.
22. Остафьев В. А. Матричный метод расчета напряжений в режущем инструменте / В. А. Остафьев. – М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1971. – 72 с.
23. Остафьев В. А. Расчет прочности режущей части инструмента / В. А. Остафьев // Станки и инструмент. – 1972. – № 7. – С. 22–24.
24. Остафьев В. А. Расчет динамической прочности режущего инструмента / В. А. Остафьев. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
25. Фельдштейн Е. Э. Прогнозирование работоспособности сменных многогранных пластин режущих инструментов / Е. Э. Фельдштейн // СТИН. – 1998. – № 10. – С. 14–19.
26. Кабалдин Ю. Г. Механизмы разрушения твердосплавного инструмента при прерывистом резании / Ю. Г. Кабалдин, А. А. Бурков, С. В. Виноградов // Вестн. машиностроения. – 2000. – № 5. – С. 31–35.
27. Работоспособность инструмента, упрочненного методом эпиламинирования / В.В. Хрипунов [и др.] // Вестн. машиностроения. – 2000. – № 5. – С. 62–63.
28. Малыгин В. И. Расчетный метод оценки качества сборного инструмента по напряженному состоянию / В. И. Малыгин, П. В. Перфильев // Вестн. машиностроения. – 1992. – № 10-11. С. 44–46.

29. *Малыгин В. И.* Модель напряженно-деформированного состояния режущего элемента сборного инструмента / В. И. Малыгин, Н. В. Лобанов // Вестн. машиностроения. – 2000. – № 2. – С. 22 – 26.

30. *Прочность* твердосплавных пластин для черновой обработки жаропрочных сплавов / М. Ю. Левин [и др.] // Станки и инструмент. – 1990. – № 12. – С. 30–31.

31. *Гречишников В. А.* Исследование деформированного состояния сборного режущего элемента методом конечных элементов / В. А. Гречишников, С. В. Лукина, А. И. Веселов // Конструкторско-технологическая информатика 2000: материалы IV междунар. конгр., Москва, 2000 г. / МГТУ. – М., 2000. – Т. 1. – С. 158–160.

32. *Демкин Н. Б.* Фактическая площадь касания твердых поверхностей / Н. Б. Демкин. – М.: АН СССР, 1962. – 110 с.

33. *Михайлов М. И.* Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов; под ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2008. – 339 с.

УДК 621.623

І.О. Подзолкін, магістрант

А.П. Киянець, магістрант

Д.В. Кальченко, студент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОХПОВОДКОВОГО ДВОБІЧНОГО ФРИКЦІЙНОГО ПРИВОДУ ДЕТАЛІ ПРИ КРУГЛОМУ ШЛІФУВАННІ СТУПІНЧАСТИХ ВАЛІВ

И.А. Подзолкин, магистрант

А.П. Киянец, магистрант

Д.В. Кальченко, студент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОВОДКОВОГО ДВУСТОРОННЕГО ФРИКЦИОННОГО ПРИВОДА ДЕТАЛИ ПРИ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Ivan Podzolkin, Master's Degree student

Alina Kyianets, Master's Degree student

Dmytro Kalchenko, student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

THE RESEARCH OF TWO LEASH DOUBLE-SIDED FRICTION OVER DETAILS AT THE ROUND GRINDING OF STEP SHAFTS

У сучасному машинобудуванні, верстатобудуванні та автомобілебудуванні широко використовуються деталі з високоточними циліндричними поверхнями, остаточно якість яких визначається операціями круглого шліфування. Поводкові пристрої відомих фірм у верстатобудуванні мають складні конструктивні параметри та складність оброблення заготовки за один установ. У роботі досліджено та сконструйовано двохповодковий двобічний фрикційний привод деталі при круглому шліфуванні ступінчастих валів, за рахунок якого можливе оброблення заготовки за один установ, що суттєво впливає на точність та продуктивність процесу шліфування. Наведено розрахунок з використанням ЕОМ питомих сил та моментів шліфування з врахування сили тертя приводу.

Ключові слова: вал, шліфування, поводковий пристрій, сила.

В современном машиностроении, станкостроении и автомобилестроении широко используются детали с высокоточными цилиндрическими поверхностями, финишное качество которых определяется операциями круглого шлифования. Поводковые устройства известных фирм в станкостроении имеют сложные конструктивные параметры и сложность обработки заготовки за один установ. В работе исследован и сконструирован двухповодковый двухсторонний фрикционный привод детали при круглом шлифовании ступенчатых валов за счёт которого возможна обработка заготовки за один установ, что существенно влияет на точность и производительность процесса шлифования. Приведён расчёт с использованием ЭВМ удельных сил и моментов шлифования с учетом силы трения привода.

Ключевые слова: вал, шлифование, поводковое устройство, сила.

In modern engineering, machine tools and automotive parts are widely used with high-precision cylindrical surfaces, the final quality is determined cylindrical grinding operations. Leash device known companies in the machine tool industry have complex design parameters and the complexity of a workpiece in a single setup. The paper researched and designed of

two leash double-sided friction details in cylindrical grinding stepped shafts through which the workpiece can be machined in a single setup, which significantly affect the accuracy and performance of the grinding process. The calculation using a computer specific grinding forces and moments based on the friction force of the account.

Key words: a shaft, the grinding, the leash device, the force.

Постановка проблеми. Як відомо, у сучасному машинобудуванні, верстатобудуванні та автомобілебудуванні широко використовуються деталі з високоточними циліндричними поверхнями, остаточно якість яких визначається операціями круглого шліфування.

Під час виготовлення широкого класу деталей машин, необхідно, з одного боку, втримувати високі вимоги щодо якості отримання геометричних розмірів, шорсткості і фізико-механічного стану поверхневого шару, з іншого боку, підвищувати продуктивність їх випуску в зв'язку з вимогами ринку.

Отримання високої якості виробів з високою продуктивністю і гнучкістю виробництва можливе з використанням універсальних технологій круглого шліфування на верстатах з ЧПК та допоміжного спеціального обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо декілька способів передачі крутного моменту від приводу обертання до деталі при круглому шліфуванні ступінчастих валів, а саме [1]:

- а) поводкові механізми зовнішнього контакту з деталлю;
- б) поводкові механізми внутрішнього контакту з деталлю.

Однак найбільшого застосування знайшли поводкові механізми внутрішнього контакту з деталлю [2; 3; 4; 5; 6].

Зокрема, в роботі [2] автором приведено зовнішній вигляд поводкового механізму внутрішнього контакту з деталлю. Розглянуто поводкові пристрої відомих фірм у галузі верстатобудування, такі як: верстати Quickpoint фірми Junker (Німеччина), Elektronik (Росія), ШліфВЕРСТ (Україна).

Щоб загалом охарактеризувати поводкові пристрої цих виробників, слід звернути увагу на їх конструкцію, яка складна за своїми конструктивними параметрами.

Задача розроблення поводкових механізмів внутрішнього контакту з деталлю залишається актуальною на сьогодні і потребує подальшого розвитку.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Складність оброблення заготовки за один установ.

Мета статті. Головною метою роботи є дослідження двохповодкового двобічного фрикційного приводу деталі при круглому шліфуванні за один установ ступінчастих валів, розрахунок питомих сил та моментів шліфування з врахуванням сили тертя приводу.

Виклад основного матеріалу. В цій роботі досліджений новий поводковий пристрій (позитивний відгук на видачу деклараційного патенту на корисну модель № u201308221 повідковий пристрій, винахідники: В.І. Кальченко, Д.В. Кальченко, А.П. Киянець, І.О. Подзолкін, дата подання 01.07.2013), який зображений на рис. 1, 2.

Пристрій працює таким чином, заготовку 5 встановлюють на призму 6. Базовий торець заготовки переміщують задньою бабкою за рахунок взаємодії шпинделя 2 та фрикційного поводкового пристрою 4 в осьовому напрямку Z до контакту базових торців заготовки 5 з упорами 7 та 8 у вигляді напівсфер. У результаті цього центри 3, 4 переміщуються у виступи в заготовці 5 (рис. 3).

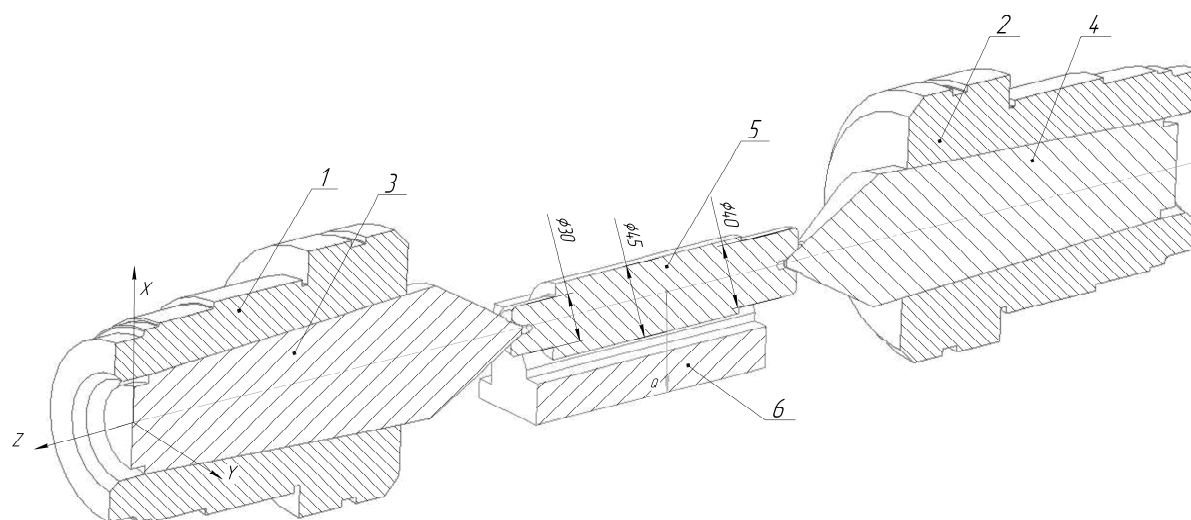


Рис. 1. Конструкція двохповодкового двобічного фрикційного приводу деталі:
1 – шпindel передньої бабки, 2 – шпindel задньої бабки, 3,4 – фрикційні поводкові пристрої передньої та задньої бабок (центри), 5 – деталь, 6 – призма

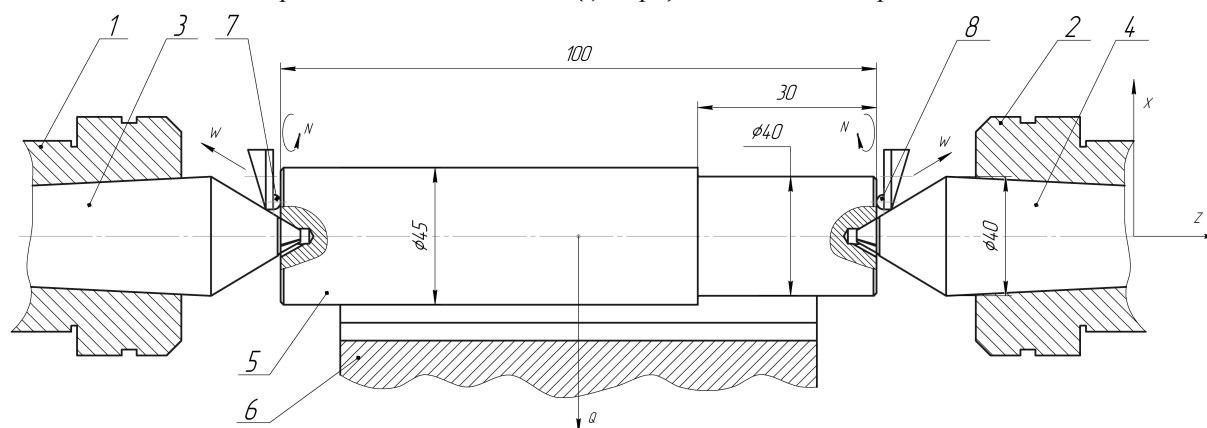


Рис. 2. Схема базування заготовки:
1 – шпindel передньої бабки, 2 – шпindel задньої бабки, 3,4 – фрикційні поводкові пристрої передньої та задньої бабок (центри), 5 – деталь, 6 – призма, 7, 8 – базуючі упори

Після базування заготовки в осьовому напрямку Z її провертають, а упори 7 та 8 виводять з контакту з базовими торцями у напрямку W та провертають їх у початкове положення. Після того, як відбувається базування, одночасно з провертанням заготовки 5 призма 6 відводиться з контакту з заготовкою рухом T , створюючи зазор 0,5 мм. Провертаючись, центри передньої та задньої бабки контактують поверхнями, які описуються рівнянням спіралі Архімеда, з виступами в заготовці, створюючи тертя між вищезгаданими поверхнями, і таким чином відбувається базування та центрування заготовки 5 (рис. 4, 5).

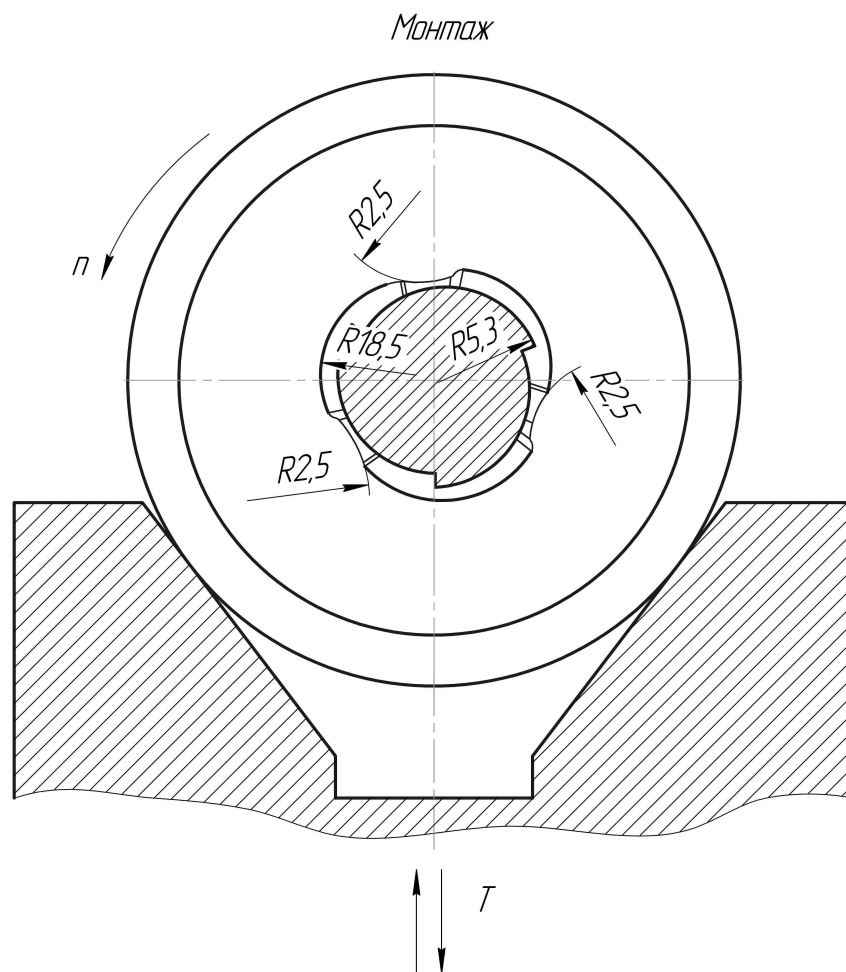


Рис. 3. Монтаж центру в центровому отворі

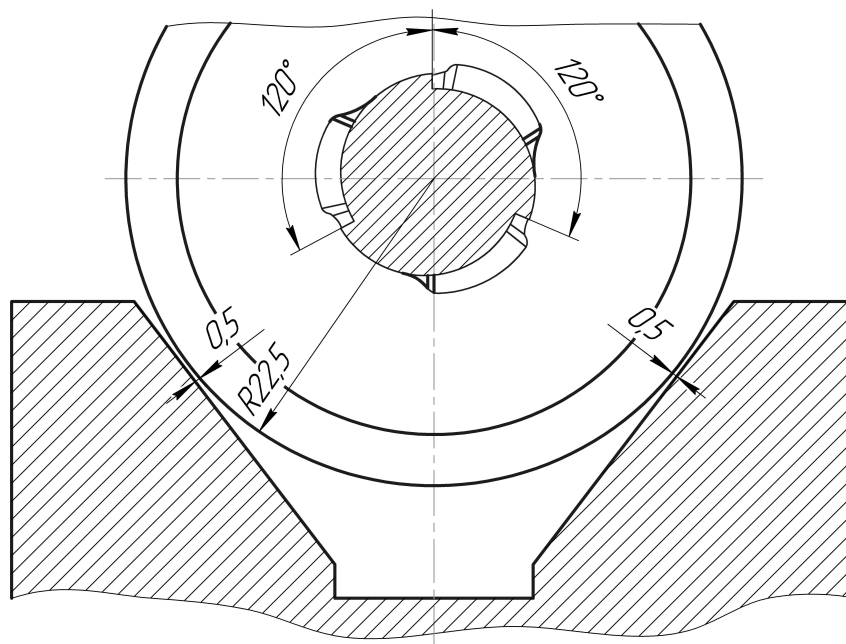


Рис. 4. Центрування заготовки

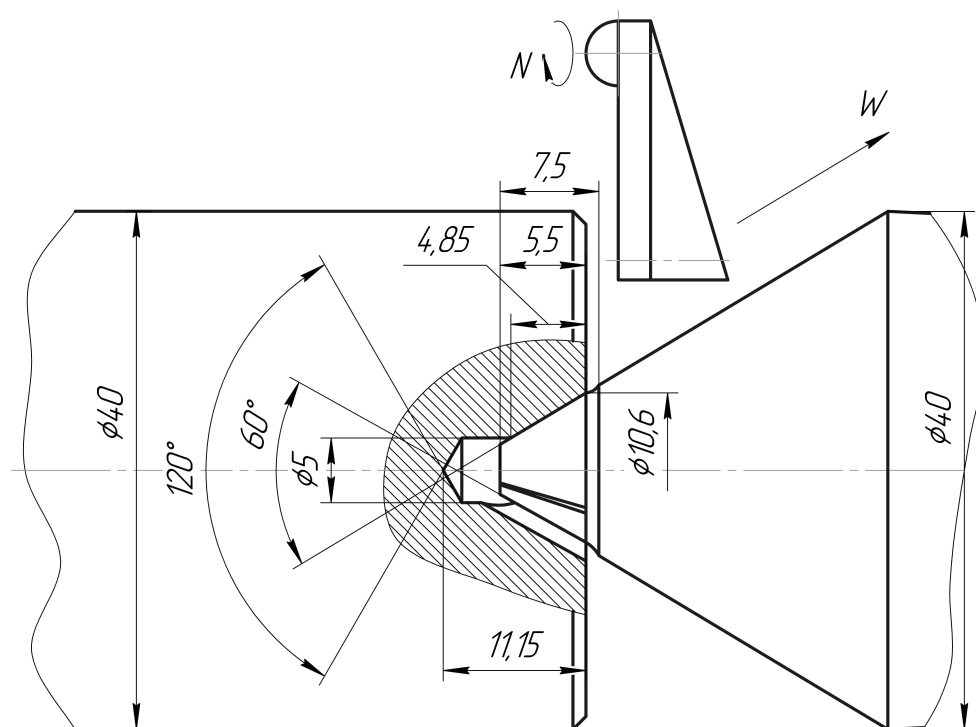


Рис. 5. Схематичне зображення процесу центрування заготовки

Виходячи з вищезгаданого, сили та моменти тертя залежать від таких параметрів: від рівняння спіралі Архімеда, від кута спаду центра, від сили затиску в осьовому напрямку.

Виходячи з третього закону Ньютона, сила F_d тиск тіла на опору дорівнює по модулю силі N реакції опори (рис. 6). Отже, максимальна сила тертя пропорційна силі реакції опори. Для модулів цих сил справедливе таке відношення:

$$F_{p_i} = f_p \cdot N_i, \quad (1)$$

де F_{p_i} – сила тертя в i -тій точці;

f_p – безрозмірний коефіцієнт пропорційності (коефіцієнт тертя);

N_i – реакція опори в i -тій.

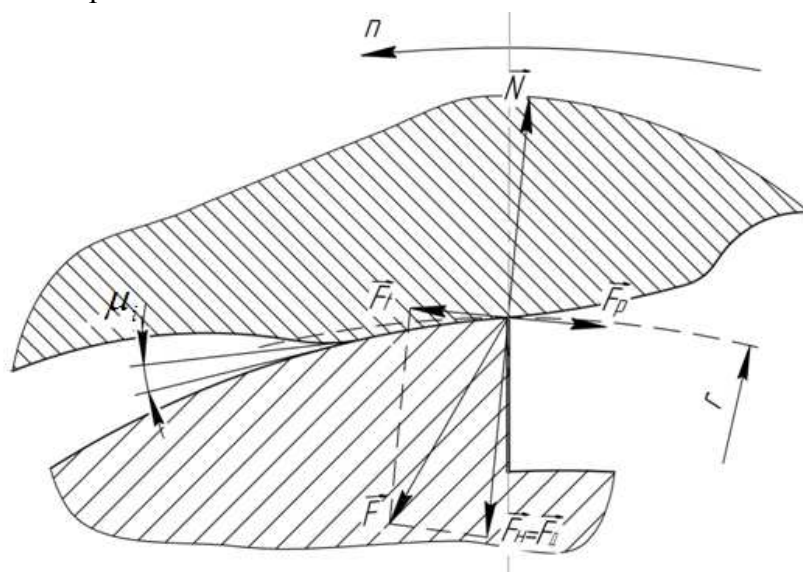


Рис. 6. Схематичне зображення сили тертя залежно від спіралі Архімеда

Рівняння кривої центра описується рівнянням спіралі Архімеда, яке має вигляд (рис. 7):

$$r(\phi_i) = a \cdot \phi_i + 10,6, \quad (2)$$

де $r(\phi_i)$ – змінний радіус по поверхні центру, мм;

ϕ_i – кут повороту змінного радіусу, рад;

a – кутова координата, рад;

10,6 – максимальний діаметр спіралі Архімеда на довжині $l=5,5$ мм, мм.

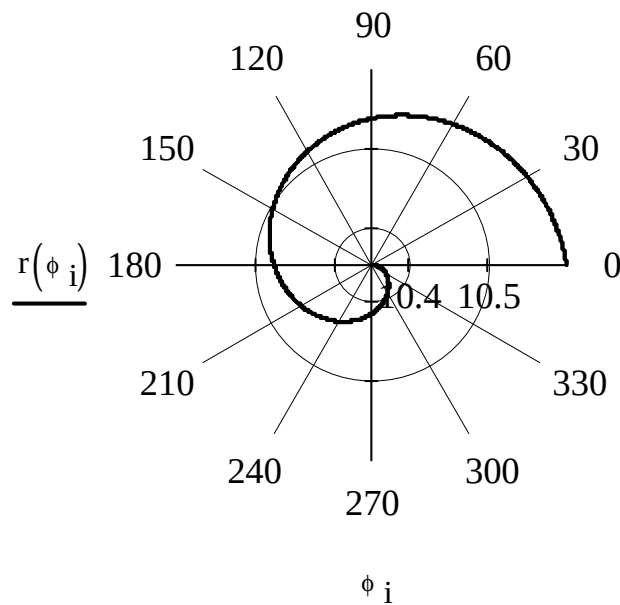


Рис. 7. Спіраль Архімеда

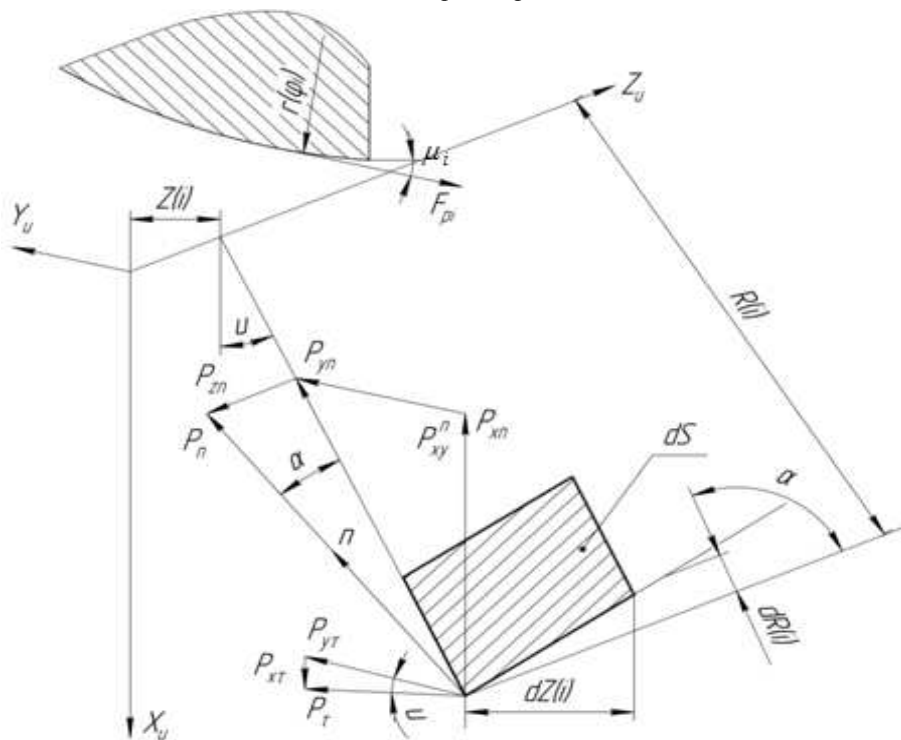


Рис. 8. Розрахункова схема для визначення складових сил та моментів різання під час шліфування орієнтованим інструментом з врахуванням сили тертя між центром та центровим отвором

У роботах [7; 8; 9] наведено розрахунок для визначення складових сил та моментів різання під час шліфування орієнтованим інструментом, але не було враховано силу тертя між центром та центровим отвором.

Враховавши тертя приводу деталі в центровому отворі, можна вивести залежності сумарної сили різання P (рис. 8), яка представлена у вигляді проекцій на осі координат інструменту P_x , P_y , P_z , а сумарний момент у вигляді моментів цих сил відносно осей M_x , M_y , M_z .

Формули для визначення сил різання та моментів для випадку оброблення орієнтованим інструментом з врахуванням сили тертя приводу деталі та (1), (2) мають вигляд:

$$P_{x_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [Pn(u,i) \cdot \cos \alpha \cdot \cos u + (P\tau(u,i) \cdot \sin u - Fp_i)] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot N_{zr}(u,i) du ; \quad (3)$$

$$P_{y_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [Pn(u,i) \cdot \cos \alpha \cdot \sin u + (P\tau(u,i) \cdot \cos u - Fp_i)] \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot N_{zr}(u,i) du ; \quad (4)$$

$$P_{z_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [Pn(u,i)] \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot N_{zr}(u,i) \cdot \sin \alpha du ; \quad (5)$$

$$M_{ox_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [P\tau(u,i) \cdot Z(i) \cdot Fp_i \cdot Z(i)] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot N_{zr}(u,i) \cdot \cos u du ; \quad (6)$$

$$M_{oy_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [P\tau(u,i) \cdot R(i) Fp_i \cdot (r(\varphi_i) + R(i))] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot N_{zr}(u,i) \cdot \sin u du ; \quad (7)$$

$$M_{oz_i} = \int_{uu1(i)}^{uu2(i)} [P\tau(u,i) \cdot R(i) Fp_i \cdot (r(\varphi_i) + R(i))] \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot N_{zr}(u,i) du , \quad (8)$$

де $Pn(u,i)$ – радіальна складова сили мікрорізання;

$P\tau(u,i)$ – тангенційна складова сили різання;

$Z(i)$ – координата вздовж осі обертання інструменту;

$R(i)$ – радіус інструменту в довільній точці;

α – кут нахилу профілю інструмента до його осі;

$N_{zr}(u,i)du$ – середнє число ріжучих кромок, розташованих на елементі площини du (розрахунок наведено у роботі [7]);

Fp_i – сила тертя в i -тій точці;

$r(\varphi_i)$ – змінний радіус по поверхні центру в довільній i -тій точці;

i – номер точки вздовж профілю інструмента;

u – кутовий параметр, який визначає знаходження i -ї точки;

$uu1(i)$ – кут входу шліфувального круга в заготовку в i -тій точці;

$uu2(i)$ – кут виходу шліфувального круга в заготовку в i -тій точці.

Нормальна до поверхні круга питома складова сили різання з врахуванням сили тертя:

$$P_{ni}(i) = \sqrt{P_{zi}(i)^2 + P_{xi}(i)^2} . \quad (9)$$

Нормальна до поверхні круга питома складова моментів сил різання з врахуванням сили тертя:

$$M_{ni}(i) = \sqrt{M_{zi}(i)^2 + M_{xi}(i)^2} . \quad (10)$$

На основі формул (3)-(10) розроблена програма розрахунку на ЕОМ. Графіки розрахунку наведені на рис. 9-12.

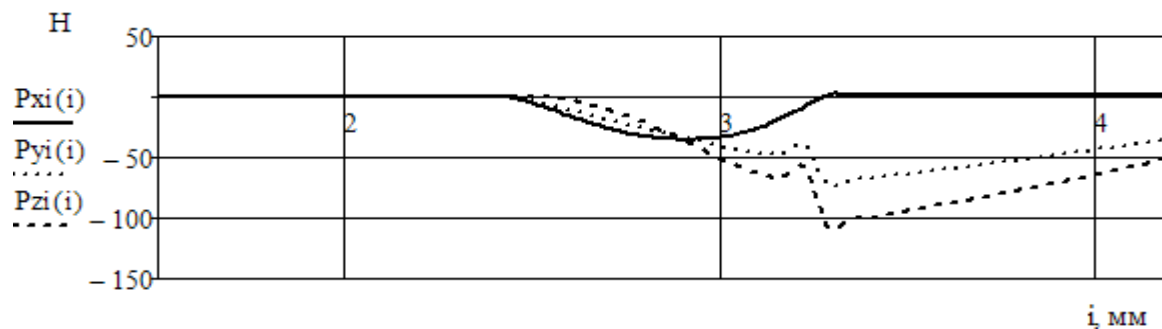


Рис. 9. Питомі складові сил шліфування з врахуванням сили тертя

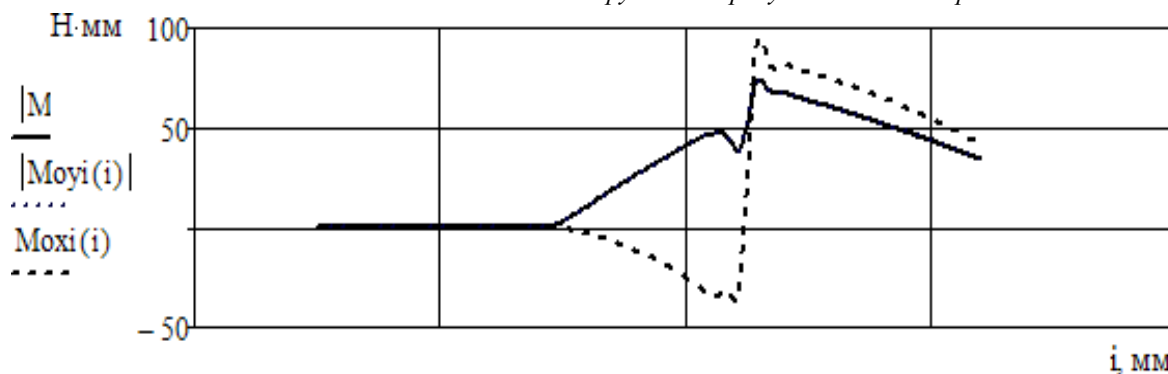


Рис. 10. Питомі складові моментів шліфування з врахуванням сили тертя

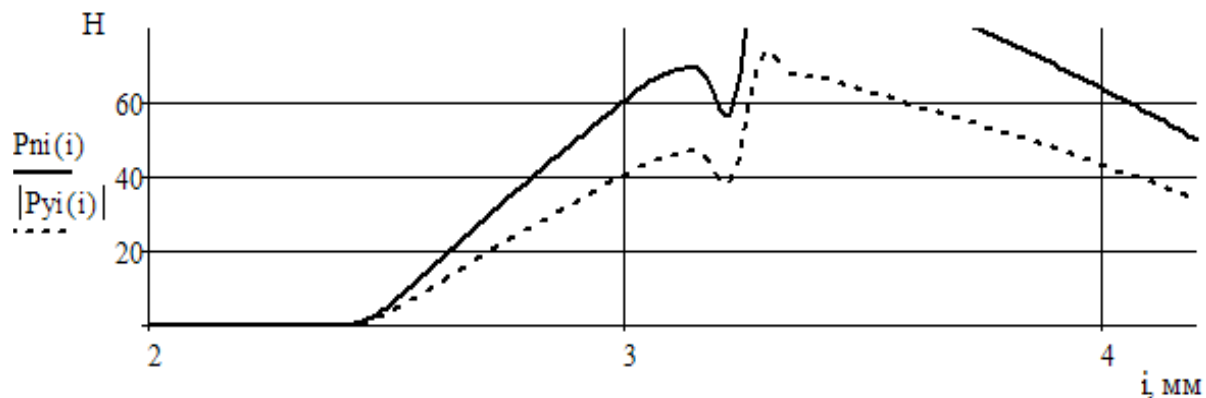


Рис. 11. Нормальна і тангенціальна питомі складові сили різання з врахуванням сили тертя

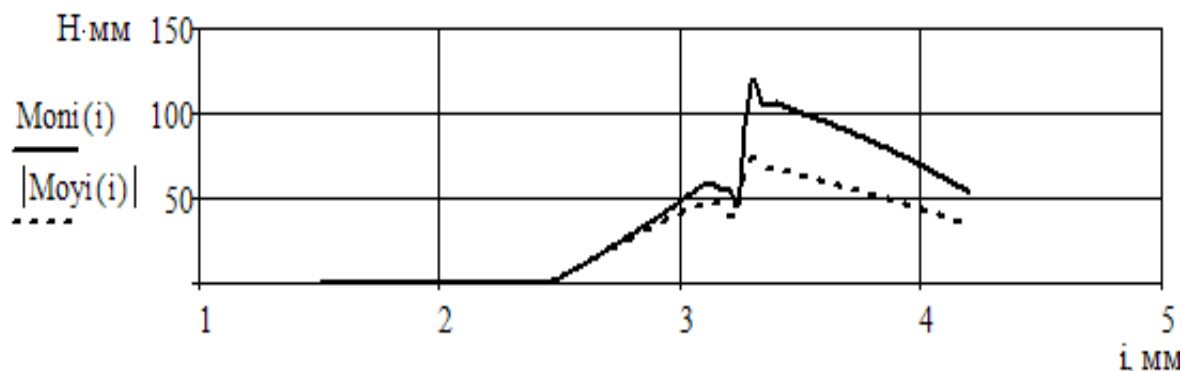


Рис. 12. Нормальна і тангенціальна питомі складові моментів сил різання з врахуванням сили тертя

Висновки та пропозиції. Розроблено та досліджено двохповодковий двобічний фрикційний привод деталі при круглому шліфуванні ступінчастих валів. Запропоновано методику розрахунку сил та моментів різання з врахуванням сили тертя між приводом деталі та заготовкою під час шліфування орієнтованим інструментом.

Такий поводковий пристрій дає змогу оброблення заготовки за один установ, що підвищує продуктивність та точність процесу шліфування на верстатах з ЧПК.

Список використаних джерел

1. Ансеров М. А. Зажимные приспособления для токарных и круглошлифовальных станков / М. А. Ансеров. – Л. : Машиностроение, 1948. – 180 с.
2. Режим доступу : <http://www.junker-russia.ru/ru/downloadportal/>.
3. А.с. 580062 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов. – № 2382440/08 ; заявл. 05.07.76 ; опубл. 15.11.77, Бюл. № 42. – 2 с.
4. А.с. 692700 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов. – № 2605594/25-08 ; заявл. 19.04.78 ; опубл. 25.10.79, Бюл. № 39. – 2 с.
5. А.с. 823007 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов, В. А. Магазинер. – № 2743724/25-08 ; заявл. 30.03.79 ; опубл. 23.04.81, Бюл. № 15. – 3 с.
6. А.с. 895595 СССР, МКИ В23В 33/00. Поводковый центр / Л. А. Васильевых, Ю. Л. Апатов. – № 2906446/25-08 ; заявл. 07.04.80 ; опубл. 07.01.82, Бюл. № 1. – 3 с.
7. Рудик А. В. Визначення составляющих сил різання при шліфуванні орієнтованим інструментом / А. В. Рудик, В. М. Ключниченко, В. В. Кальченко // Вісник Чернігівського технологічного інституту : збірник – Чернігів : ЧТІ, 1996. – № 1. – С. 99-104.
8. Портман В. Т. Точность металлорежущих станков / В. Т. Портман, Д. Н. Решетов. – М., 1986. – 320 с.
9. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М. : Машиностроение, 1974. – 280 с.

РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.754:51-74

И.В. Пентегов, д-р техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

С.В. Рымар, д-р техн. наук

В.Н. Сидорец, д-р техн. наук

С.Ю. Максимов, д-р техн. наук

И.В. Ляховая, ведущий инженер

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина

РАСПЛАВЛЕНИЕ ПОКРЫТОГО СВАРОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА ПРИ ПОДВОДНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

И.В. Пентегов, д-р техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

С.В. Рымар, д-р техн. наук

В.М. Сидорець, д-р техн. наук

С.Ю. Максимов, д-р техн. наук

І.В. Ляхова, провідний інженер

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ, Україна

РОЗПЛАВЛЮВАННЯ ПОКРИТОГО ЗВАРЮВАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОДА ПРИ ПІДВОДНОМУ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

Igor Pentegov, Doctor of Technical Sciences

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

Sergey Rymar, Doctor of Technical Sciences

Vladimir Sidorets, Doctor of Technical Sciences

Sergey Maksimov, Doctor of Technical Sciences

Inna Lyakhovaya, principal engineer

The E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

MELTING-DOWN OF THE COATED WELDING ELECTRODE AT A UNDERWATER ARC WELDING

Рассмотрено влияние коротких замыканий, в частности, их уровня и длительности, на процесс расплавления покрытого сварочного электрода при подводной дуговой сварке сталей. Учтено влияние давления соленой или пресной воды на глубине, на которой осуществляется сварка, температуры омывающей электрод воды, диаметра электрода и толщины его покрытия, пространственного расположения электрода в процессе сварки, плотности тока в электроде, теплообмена между электродом и омывающей его водой.

Ключевые слова: стали, подводная дуговая сварка сталей, расплавление покрытого сварочного электрода.

Розглянуто вплив коротких замикань, зокрема, їх рівня і тривалості, на процес розплавлення покритого зварювального електрода при підводному дуговому зварюванні сталей. Враховано вплив тиску солоної або прісної води на глибині, на якій здійснюється зварювання, температури води, що омиває електрод, діаметра електрода й товщини його покриття, просторового розташування електрода у процесі зварювання, щільності струму в електроді, теплообміну між електродом і водою, що його омиває.

Ключові слова: сталі, підводне дугове зварювання сталей, розплавлення покритого зварювального електрода.

Influence of short circuits, particularly of their level and duration, on the process of meltdown of a coated welding electrode is studied for underwater arc welding of steels. Allowances were made for effects of salt or fresh water pressure at the depth of welding, temperature of surrounding water, electrode diameter and thickness of its coating, spatial arrangement of electrode during welding process, current density in the electrode, heat exchange between the electrode and surrounding water.

Key words: steels, underwater arc welding of steels, meltdown of a coated welding electrode.

Постановка проблемы. Подводная дуговая сварка сталей широко применяется при строительстве и ремонте морских, речных и береговых инженерных конструкций и сооружений, ремонте корпусов кораблей и судов. Актуальность исследований продиктована необходимостью обеспечения стабильного качества сварных швов при подводной сварке

сталей покрытыми сварочными электродами. Проблемы здесь связаны с интенсивным отводом тепла водой от свариваемых конструкций, что существенно затрудняет формирование качественного сварного шва. Положение усугубляется и тем, что интенсивный отвод тепла осуществляется и с поверхности сварочного электрода, затрудняя его плавление. Статья продолжает начатые авторами работы [1-3] по определению факторов, оказывающих влияние на скорость плавления покрытого сварочного электрода при сварке сталей и их учет при расчете коэффициента расплавления электрода.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследования плавления электрода при сварке сталей освещены во многих работах, наиболее важные из которых отмечены в работах [1-3]. Однако большинство методов расчёта базируются только на экспериментальных данных, что затрудняет процесс исследования.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В опубликованных ранее авторами работах [1-3] не рассматривалась подводная сварка сталей, характеризующаяся интенсивным отводом тепла из зоны сварки и электрода водой.

Целью статьи является дальнейшее развитие аналитических методов расчета коэффициента расплавления покрытого сварочного электрода, предложенных авторами в работах [1-3], для упрощения анализа процессов, происходящих при подводной дуговой сварке сталей покрытыми сварочными электродами. Здесь необходим учет таких характеристик, как наличие коротких замыканий и их длительность в процессе сварки, величина тока короткого замыкания, пространственное расположение электрода, теплообмен между электродом и омывающей его водой, температура и давление морской или речной воды на глубине, на которой осуществляется сварка.

Изложение основного материала. По существующим требованиям подводная дуговая сварка покрытым электродом должна осуществляться только постоянным (выпрямленным) током. Рассмотрим процессы при естественном охлаждении электрода (без учета течения воды). В статье не будем повторять формулы, которые уже были приведены в работах [1-3], а дадим ссылки на них.

Плавление электрода при подводной дуговой сварке происходит за счет нагрева металла электрода дугой при подогреве электрода протекающим по нему током. При этом металл электрода нагревается от температуры окружающей среды (воды) T_{oc} до температуры капли T_{kap} . Часть расплавленного металла, граничащая с дугой, испаряется. Основной характеристикой плавления электрода является массовая скорость плавления (производительность) G_p , измеряемая массой расплавленного металла электрода в единицу времени (кг/с) [1-3]. Коэффициент расплавления электрода α_p , имеющий размерность кг/(с·А), в первом приближении прямо пропорционален массовой скорости плавления G_p и обратно пропорционален току сварки I_{sv} :

$$\alpha_p = G_p / I_{sv} \quad (1)$$

и сложным образом зависит от времени сварки, характера сварочного тока I_{sv} , температуры капли T_{kap} .

Для определения времени t нагрева электрода проходящим эффективным (действующим) током I_{eff} от температуры окружающей среды T_{oc} до температуры предварительного нагрева электрода T_0 необходимо использовать формулу (9) работы [3], которая записана в виде функции от температуры T_0 , эффективного значения плотности тока в электроде j_{eff} , диаметра электрода d_e и угла наклона электрода φ . В эту формулу входит коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности электрода α_k . Определим этот коэффициент при естественном охлаждении водой. Для этого запишем выражения и аппроксимационные формулы характеристик воды [4; 5] в зависимости от температуры воды $T_{oc} = 273...373 \text{ K}$ ($0...100 \text{ }^\circ\text{C}$).

Температурный коэффициент объемного расширения воды, K^{-1} , равен [4; 5]:

$$\beta_{vd}(T_2) = \begin{cases} \beta_{vd,0} \left(-19,55 + 20,61 \frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right), & \text{if } (T_2 + T_{oc})/2 < 303K; \\ \beta_{vd,0} \left(-8,49 + 9,91 \frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right), & \text{if } (T_2 + T_{oc})/2 \geq 303K, \end{cases} \quad (2)$$

где T_2 – температура поверхности покрытия электрода; $\beta_{vd,0} = 1,82 \cdot 10^{-4} K^{-1}$ – значение коэффициента объемного расширения воды при температуре $T_{293K} = 293 K$ (при $20^\circ C$).

Коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м·K),

$$\lambda_{vd}(T_2) = \lambda_{vd,0} \left[1,205 - 0,203 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^{-5,007} \right]. \quad (3)$$

Здесь $\lambda_{vd,0} = 0,599$ Вт/(м·K) – значение коэффициента теплопроводности воды при температуре T_{293K} .

Теплоемкость воды, Дж/(кг·K),

$$C_{p,vd}(T_2) = C_{p,vd,0} \left[2,158 - 2,83 \frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} + 2,25 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^2 - 0,5782 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^3 \right], \quad (4)$$

где $C_{p,vd,0} = 4,183 \cdot 10^3$ Дж/(кг·K) – значение теплоемкости воды при температуре T_{293K} .

Плотность воды, кг/м³,

$$\rho_{vd}(T_2) = \rho_{vd,0} \left[0,0486 + 2,4924 \frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} - 2,074 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^2 + 0,533 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^3 \right]. \quad (5)$$

Здесь $\rho_{vd,0} = 998,23$ кг/м³ – плотность воды при температуре T_{293K} .

Коэффициент вязкости воды, Н·с/м²,

$$\mu_{vd}(T_2) = \mu_{vd,0} \left[5308,25 - 19585,99 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^{\frac{1}{2}} + 27128,97 \frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} - 16714,16 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^{\frac{3}{2}} + 38639,25 \left(\frac{T_2 + T_{oc}}{2T_{293K}} \right)^2 \right], \quad (6)$$

где $\mu_{vd,0} = 1004$ Н·с/м² – значение коэффициента вязкости воды при температуре T_{293K} .

Коэффициент кинематической вязкости воды $\nu_{vd}(T_2)$, критерий Грасгофа $Gr(T_2)$, характеризующий относительную эффективность подъемной силы, вызывающий свободно-конвективное движение воды вдоль поверхности горизонтально расположенного электрода и критерий Прандтля $Pr(T_2)$, являющийся теплофизической характеристикой теплоносителя (воды), рассчитывается соответственно по формулам (10)–(12) работы [2].

Критерий Нуссельта, определяющий интенсивность теплоотдачи вдоль поверхности горизонтально расположенного электрода, для отдельных областей изменения произведения критериев $Gr(T_2) \cdot Pr(T_2)$, равен [6]:

$$Nu(T_2) = \begin{cases} 1,18 (Gr(T_2) \cdot Pr(T_2))^{\frac{1}{8}}, & \text{if } Gr(T_2) \cdot Pr(T_2) \leq 5 \cdot 10^2; \\ 0,54 (Gr(T_2) \cdot Pr(T_2))^{\frac{1}{4}}, & \text{if } 5 \cdot 10^2 < Gr(T_2) \cdot Pr(T_2) \leq 2 \cdot 10^7; \\ 0,135 (Gr(T_2) \cdot Pr(T_2))^{\frac{1}{3}}, & \text{if } 2 \cdot 10^7 < Gr(T_2) \cdot Pr(T_2). \end{cases} \quad (7)$$

Коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности горизонтально расположенного электрода при естественном охлаждении $\alpha_k(T_2)$ определяется по формуле (14) работы [2].

Для вертикально расположенного электрода длиной l , являющейся его характерным линейным размером, критерий Грасгофа вычисляется по формуле (15) работы [2].

Из-за поднимающихся от дуги турбулентных потоков нагретой воды критерий Нуссельта будет определяться по формуле [5]:

$$\text{Nu}(T_2) = 0,135(\text{Gr}(T_2) \cdot \text{Pr}(T_2))^{1/3}, \quad (8)$$

а коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности вертикально расположенного электрода при естественном охлаждении, при учете выражений (12) и (15) работы [2] и формулы (8), будет иметь вид

$$\alpha_k(T_2) = \text{Nu}(T_2)\lambda_{vd}(T_2)/l = 0,135[g\beta_{vd}(T_2)\mu_{vd}(T_2)C_{p,vd}(T_2) \cdot (T_2 - T_{oc})]^{1/3} \cdot \left(\frac{\lambda_{vd}(T_2)}{\nu_{vd}(T_2)}\right)^{2/3}, \quad (9)$$

не зависящий от длины электрода l , где $g = 9,807 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Аппроксимационная зависимость (8) работы [3] позволяет определить значения коэффициента конвективной теплоотдачи с поверхности α_k для горизонтально (см. формулу (14) работы [2]) и вертикально (см. формулу (9)) расположенного электрода при естественном охлаждении и произвольном расположении электрода в зависимости от температуры поверхности покрытия электрода T_2 , его диаметра d_e и угла наклона φ .

Отметим, что при наличии подводных течений коэффициент α_k будет существенно увеличиваться, причем тем сильнее, чем больше скорость течения воды, и практически не зависит от пространственного расположения электрода.

Коэффициент расплавления электрода α_p при подводной сварке определяется по формуле (19) работы [3]. В эту формулу входит коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности капли $\alpha_{k,кап}$, для расчета которого необходимо определить выражения и аппроксимационные формулы характеристик водяного пара на линии насыщения, образующегося в парогазовом пузыре вокруг ванны расплавленного металла сварного шва, дуги и капли расплавленного металла электрода, полученные на основании работ [4; 5], в зависимости от давления воды p_{vd} на глубине h_{gl} от 0 до 200 м, на которой проводится сварка, где давление p_{vd} изменяется от 1 до 20 атм.

Коэффициент теплопроводности пара, Вт/(м·К),

$$\lambda_p(p_{vd}) = \lambda_{p,0} \left[0,763 + 0,282 \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{1}{2}} - 4,2 \cdot 10^{-2} \frac{p_{vd}}{p_{1atm}} + 4,6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{3}{2}} \right]. \quad (10)$$

Здесь $\lambda_{p,0} = 2,372 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К)}$ – значение коэффициента теплопроводности пара при давлении 1 атм; p_{1atm} – давление, равное 1 атм.

Теплоемкость пара, Дж/(кг·К),

$$C_{p,p}(p_{vd}) = C_{p,p,0} \left[0,968 + 2,465 \cdot 10^{-4} \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{1}{2}} + 3,636 \cdot 10^{-2} \frac{p_{vd}}{p_{1atm}} - 1,883 \cdot 10^{-3} \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{3}{2}} \right], \quad (11)$$

где $C_{p,p,0} = 2,135 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг·К)}$ – значение теплоемкости пара при давлении p_{1atm} .

Плотность пара, кг/м³,

$$\rho_p(p_{vd}) = \rho_{p,0} \left(0,157 + 0,843 \frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right). \quad (12)$$

Здесь $\rho_{p,0} = 0,598 \text{ кг/м}^3$ – плотность пара при давлении p_{1atm} .

Коэффициент вязкости пара, Н·с/м²,

$$\mu_p(p_{vd}) = \mu_{p,0} \cdot 10^{-2} \left[66,3 + 51,4 \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{1}{2}} - 22,3 \frac{p_{vd}}{p_{1atm}} + 5,27 \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{3}{2}} - 0,4616 \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^2 \right], \quad (13)$$

где $\mu_{p,0} = 1,197 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ – значение коэффициента вязкости пара при давлении p_{1atm} .

Температура пара, K ,

$$T_p(p_{vd}) = T_{p,0} \left[0,836 + 0,195 \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{1}{2}} - 0,032 \frac{p_{vd}}{p_{1atm}} + 2,647 \cdot 10^{-3} \left(\frac{p_{vd}}{p_{1atm}} \right)^{\frac{3}{2}} \right], \quad (14)$$

где $T_{p,0} = 373 \text{ K} = 100^\circ \text{C}$ – значение температуры пара при давлении p_{1atm} .

Температурный коэффициент объемного расширения пара, K^{-1} [4; 5], согласно закону Гей-Люссака

$$\beta_p(p_{vd}) = 1/T_p(p_{vd}). \quad (15)$$

Коэффициент кинематической вязкости пара, $\text{м}^2/\text{с}$,

$$\nu_p(p_{vd}) = \mu_p(p_{vd})/\rho_p(p_{vd}). \quad (16)$$

Критерий Грасгофа, характеризующий относительную эффективность подъемной силы, вызывающий свободно-конвективное движение пара вдоль поверхности капли с характерным линейным размером капли, равным ее среднему диаметру $d_{kap} = 2d_e$:

$$Gr(p_{vd}, T_{kap}) = \beta_p(p_{vd}) \frac{g d_{kap}^3}{\nu_p^2(p_{vd})} (T_{kap} - T_p(p_{vd})). \quad (17)$$

Критерий Прандтля, являющийся теплофизической характеристикой теплоносителя (пара):

$$Pr(p_{vd}) = \mu_p(p_{vd}) C_{p,v}(p_{vd}) / \lambda_v(p_{vd}). \quad (18)$$

Критерий Нуссельта будет определяться по формуле [5]:

$$Nu(p_{vd}, T_{kap}) = 0,135 (Gr(p_{vd}, T_{kap}) \cdot Pr(p_{vd}))^{1/3}, \quad (19)$$

а коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности капли при естественном охлаждении будет иметь вид

$$\begin{aligned} \alpha_{k,kap}(p_{vd}, T_{kap}) &= Nu(p_{vd}, T_{kap}) \lambda_{vd}(p_{vd}) / d_{kap} = \\ &= 0,135 [g \beta_p(p_{vd}) \mu_p(p_{vd}) C_{p,p}(p_{vd}) \cdot (T_{kap} - T_p(p_{vd}))]^{1/3} \cdot \left(\frac{\lambda_p(p_{vd})}{\nu_p(p_{vd})} \right)^{2/3}, \end{aligned} \quad (20)$$

не зависящий от диаметра капли d_{kap} .

Давление воды на глубине, Па , определяется по формуле [7]:

$$p_{vd}(h_{gl}, \rho_{vd}) = p_{1atm} + \rho_{vd} g \cdot h_{gl}. \quad (21)$$

Здесь $p_{1atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$; ρ_{vd} – плотность воды: для пресной воды $\rho_{vd} \approx 999 \text{ кг} / \text{м}^3$; для морской воды $\rho_{vd} \approx 1025 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Определим значения коэффициента расплавления α_p из выражения (19) работы [3]. На рис. 1 построены зависимости от времени нагрева электрода (времени осуществления сварочного процесса) t_{sv} постоянным (выпрямленным) током без коротких замыканий, $k_{t,kz} = 0$, при плотностях тока в электроде $j = 15$ и $20 \text{ А} / \text{мм}^2$ (токи $I = 190$ и 250 А), диаметре электрода $d_e = 4 \text{ мм}$, температуре капли $T_{kap} = 2600, 2800$ и 3000 К – соответственно штрих-пунктирные, пунктирные и сплошные линии, при коэффициенте кратности тока короткого замыкания $k_{kz} = 1,6$ [3], температуре морской воды 5°C , глубине 50 м , давлении воды $5,96 \text{ атм}$ и угле наклона электрода $\varphi = 45^\circ$. Обычно значения коэффициента k_{kz} , равного отношению тока короткого замыкания к сварочному току, в источниках питания для дуговой сварки покрытыми электродами лежат в диапазоне $1,2 \dots 2,5$.

Диапазон изменения коэффициента $k_{t,kz}$, учитывающего долю времени коротких замыканий за период сварки, равен $0 \dots 0,2$ [3]. Из рис. 1 видно, что значения коэффициента α_p с течением времени нагрева электрода постепенно увеличиваются. При больших значениях плотности тока кривые значений коэффициента α_p лежат выше, чем при их меньших значениях, так же как и при меньшей температуре капли расплавленного металла T_{kap} , по сравнению с большей температурой.

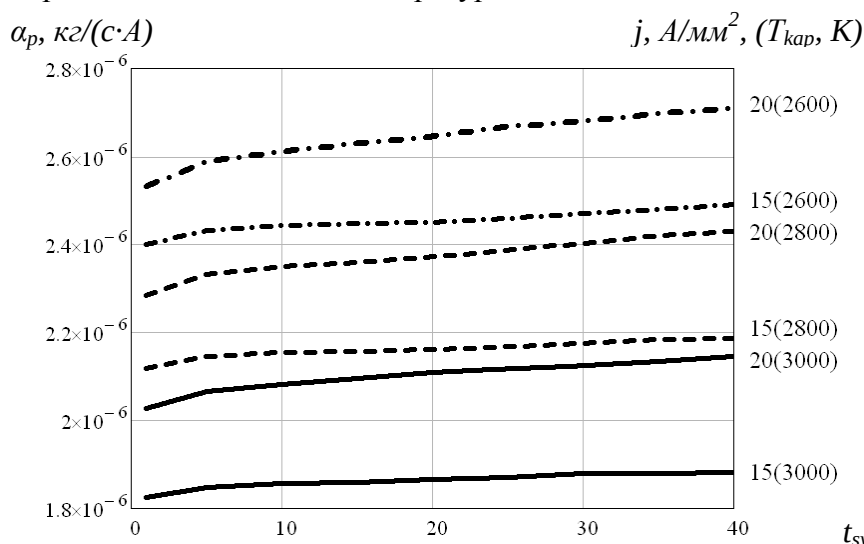


Рис. 1. Зависимости коэффициента расплавления α_p от времени сварки t_{sv} постоянным током без коротких замыканий, $k_{t,kz} = 0$, при плотностях тока в электроде $j = 15$ и $20 \text{ A}/\text{mm}^2$, диаметре электрода $d_e = 4 \text{ мм}$, температуре капли $T_{kap} = 2600 \text{ К}$ (штрих-пунктирные линии), 2800 К (пунктирные линии) и 3000 К (сплошные линии), при $k_{kz} = 1,6$, температуре морской воды 5°C , глубине 50 м , давлении воды $5,96 \text{ атм}$

Наличие или отсутствие коротких замыканий при подводной сварке покрытыми электродами определяется многими условиями: сварочным током, напряжением, величиной дугового промежутка, температурой капли, составом и толщиной покрытия электрода и др. На рис. 2 приведены осциллограммы сварочного тока при подводной сварке на обратной полярности сертифицированным покрытым электродом диаметром $d_e = 4 \text{ мм}$, разработанным в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, на глубине $0,2 \text{ м}$, давлении пресной воды $1,02 \text{ атм}$, температуре воды 15°C , при токе: *a* – 190 А с короткими замыканиями, $k_{t,kz} = 0,25$, *б* – 250 А без коротких замыканий, $k_{t,kz} = 0$; приведены образцы сварных швов *в* при токе: 190 А – верхний шов, 250 А – нижний шов. На рис. 3 приведены осциллограммы сварочного тока и сварочные швы при подводной сварке на обратной полярности при тех же условиях опытным покрытым электродом диаметром $d_e = 4 \text{ мм}$, разработанным в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, практически без коротких замыканий. Видно, что при меньшем сварочном токе и наличии коротких замыканий верхний шов на рис. 2, *в* тоньше нижнего шва, полученного при большем сварочном токе и отсутствии коротких замыканий, а металл шва в верхнем шве «стянут» к серединной части шва, образуя ребро, несколько сильнее, чем в нижнем шве. Это говорит о лучшем прогреве металла в зоне сварки в нижнем шве, имеющем лучшее качество, по сравнению с верхним швом. На рис. 3, *в* эти отличия в форме швов выражены незначительно, поскольку при формировании верхнего шва практически не было коротких замыканий, и несмотря на то, что швы были получены при разных токах, их форма практически одинакова, что связано с составом покрытия сварочного электрода.

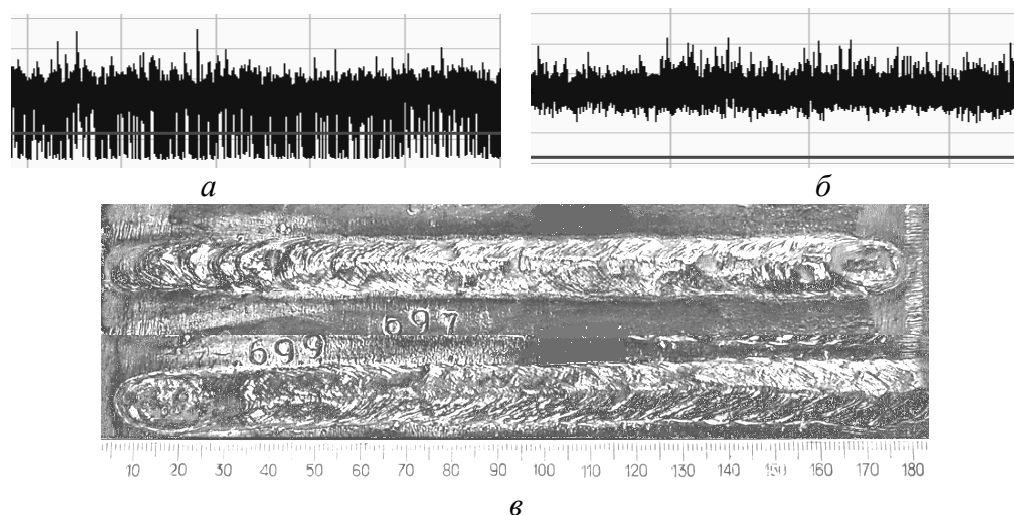


Рис. 2. Осциллограммы сварочного тока при подводной сварке на обратной полярности сертифицированным покрытым электродом диаметром $d_e = 4$ мм, разработанным в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, на глубине 0,2 м, давлении пресной воды 1,02 атм, температуре воды 15°C , при токе: а – 190 А с короткими замыканиями, $k_{t,kz} = 0,25$, б – 250 А без коротких замыканий, $k_{t,kz} = 0$; в – образцы сварных швов при токе: 190 А – верхний шов, 250 А – нижний шов

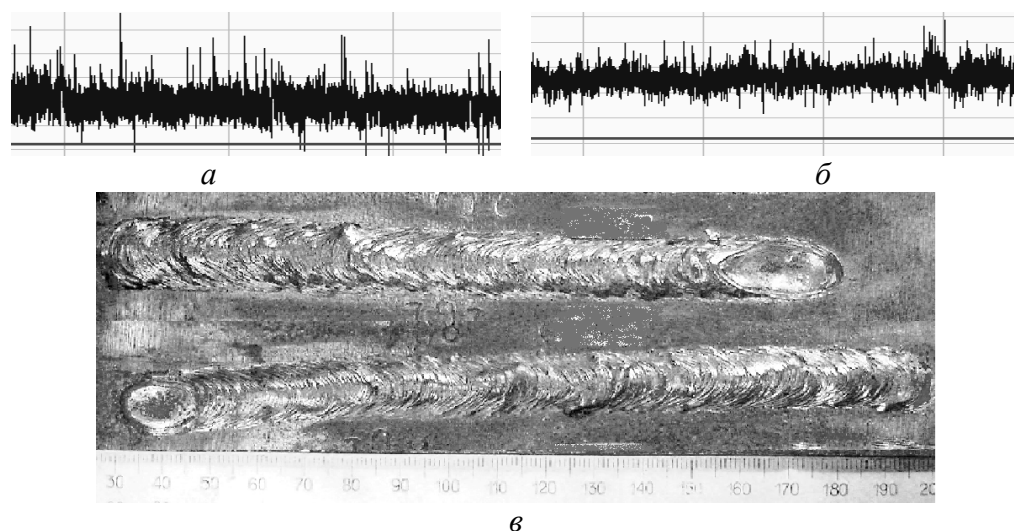


Рис. 3. Осциллограммы сварочного тока при подводной сварке на обратной полярности опытным покрытым электродом диаметром $d_e = 4$ мм, разработанным в ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, на глубине 0,2 м, давлении пресной воды 1,02 атм, температуре воды 15°C , при токе: а – 190 А с незначительным количеством коротких замыканий, $k_{t,kz} = 0,005$, б – 250 А без коротких замыканий, $k_{t,kz} = 0$; в – образцы сварных швов при токе: 190 А – верхний шов, 250 А – нижний шов

Как было показано в работе [3], на расплавление электрода влияют два основных фактора. Первый фактор – это нагрев капли электрической дугой, увеличивающийся при отсутствии коротких замыканий и уменьшающийся при их наличии, второй фактор – нагрев электрода проходящим током, увеличивающийся при наличии коротких замыканий, и уменьшающийся при их отсутствии. Рассмотрим подробнее эти два случая. Для наглядности, возьмем более широкие диапазоны изменения значений коэффициентов $k_{t,kz}$ и k_{kz} .

На рис. 4 приведены зависимости коэффициента расплавления электрода α_p от времени сварки t_{sv} при значениях коэффициента, учитывающего долю времени короткого замыкания $k_{t,kz} = 0,2$ и $0,3$, при значениях коэффициента кратности тока короткого замыкания $k_{kz} = 1,0$ (сплошные линии), $1,6$ (пунктирные линии), $3,2$ (штрих-пунктирные линии), диаметре электрода $d_e = 4$ мм, при плотности тока в электроде $j = 20 \text{ А/мм}^2$ и

температуре капли $T_{\text{кап}} = 2800 \text{ К}$, температуре морской воды 5°С , глубине 50 м, давлении воды 5,96 атм и угле наклона электрода $\varphi = 45^\circ$.

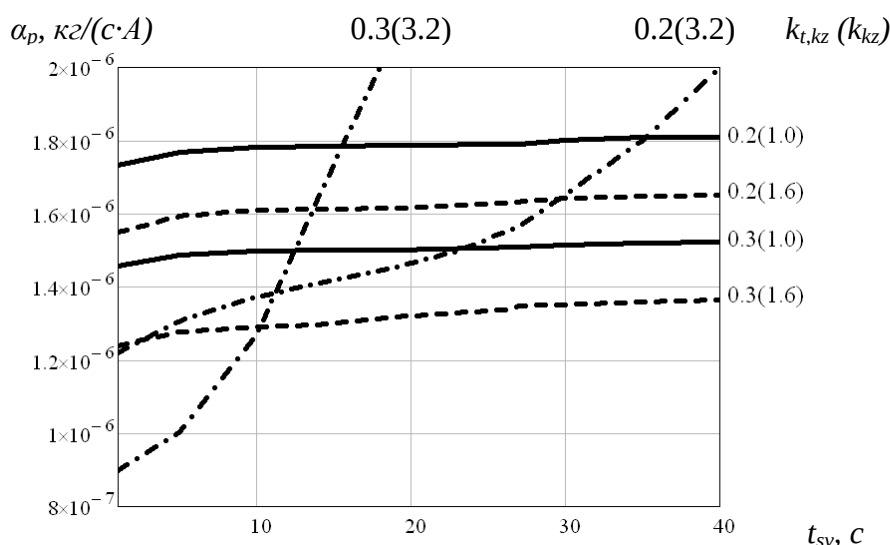


Рис. 4. Зависимости коэффициента расплавления α_p от времени сварки t_{sv} постоянным током с короткими замыканиями – $k_{t,kz} = 0,2$ и $0,3$ при: $k_{kz} = 1,0$ (сплошные линии), $k_{kz} = 1,6$ (пунктирные линии), $k_{kz} = 3,2$ (штрих-пунктирные линии), диаметре электрода $d_e = 4 \text{ мм}$, при плотности тока в электроде $j = 20 \text{ А/мм}^2$ и температуре капли $T_{\text{кап}} = 2800 \text{ К}$, температуре морской воды 5°С , глубине 50 м, давлении воды 5,96 атм

На рис. 4 при значениях коэффициента $k_{kz} = 1,0$ (сплошные линии) и $1,6$ (пунктирные линии), коэффициент α_p больше в случае $k_{t,kz} = 0,2$, по сравнению со значениями при $k_{t,kz} = 0,3$. Так же значения α_p больше при $k_{kz} = 1,0$ по сравнению со значениями при $k_{kz} = 1,6$, поскольку при отсутствии коротких замыканий сварочный процесс непрерывен и происходит постоянный нагрев капли электрической дугой, несмотря на то, что при наличии коротких замыканий возникает более интенсивный нагрев самого электрода. Здесь нагрев капли дугой, то есть первый фактор, является определяющим. При $k_{kz} = 3,2$ (штрих-пунктирные линии) коэффициент α_p сначала больше при $k_{t,kz} = 0,2$, по сравнению со значениями при $k_{t,kz} = 0,3$, и на этом интервале определяющим так же является первый фактор. После 10 секунд сварки значения коэффициента α_p становятся больше при коэффициенте $k_{t,kz} = 0,3$, по сравнению со значениями при коэффициенте $k_{t,kz} = 0,2$, и здесь уже определяющим становится второй фактор, когда нагрев электрода проходящим током интенсивно увеличивается при более длительных коротких замыканиях.

Смена влияния двух факторов хорошо видна на рис. 5, на котором приведены зависимости коэффициента расплавления α_p от значений коэффициента кратности тока короткого замыкания $k_{kz} = 1 \dots 5$ при сварке без коротких замыканий $k_{t,kz} = 0$ (сплошная линия) и с короткими замыканиями при $k_{t,kz} = 0,1$ (пунктирная линия), $k_{t,kz} = 0,2$ (штрих-пунктирная линия), $k_{t,kz} = 0,3$ (точечная линия) в момент времени сварки $t_{sv} = 15 \text{ с}$, диаметре электрода $d_e = 4 \text{ мм}$, при плотности тока в электроде $j = 20 \text{ А/мм}^2$ и температуре капли $T_{\text{кап}} = 2800 \text{ К}$, температуре морской воды 5°С , глубине 50 м, давлении воды 5,96 атм и угле наклона электрода $\varphi = 45^\circ$. При сварке без коротких замыканий значения коэффициента α_p не зависят от величины k_{kz} . При сварке с короткими замыканиями значение коэффициента α_p с ростом k_{kz} уменьшается в области малых k_{kz} , а затем начинает резко возрастать, проходя минимум. Этот минимум при $k_{t,kz} = 0,1$ (пунктирная линия) наступает при $k_{kz} \approx 4,0$, при $k_{t,kz} = 0,2$ (штрих-пунктирная линия) наступает при $k_{kz} \approx 3,0$, а при $k_{t,kz} = 0,3$ (точечная линия) минимум наступает при $k_{kz} \approx 2,6$. До минимумов определяющим является первый фактор, после минимумов – второй фактор.

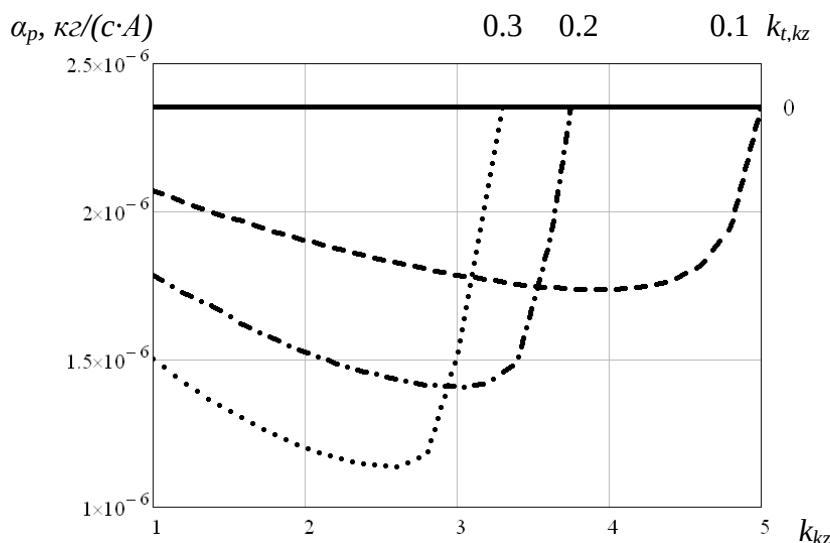


Рис. 5. Зависимости коэффициента расплавления α_p от коэффициента $k_{kz} = 1..5$ при сварке постоянным током без коротких замыканий $k_{t,kz} = 0$ (сплошная линия) и с короткими замыканиями $k_{t,kz} = 0,1$ (пунктирная линия), $k_{t,kz} = 0,2$ (штрих-пунктирная линия), $k_{t,kz} = 0,3$ (точечная линия) в момент времени сварки $t_{sv} = 5$ с, диаметре электрода $d_e = 4$ мм, при плотности тока в электроде $j = 20$ А/мм² и температуре капли $T_{kap} = 2800$ К, температуре морской воды 5°C , глубине 50 м, давлении воды 5,96 атм

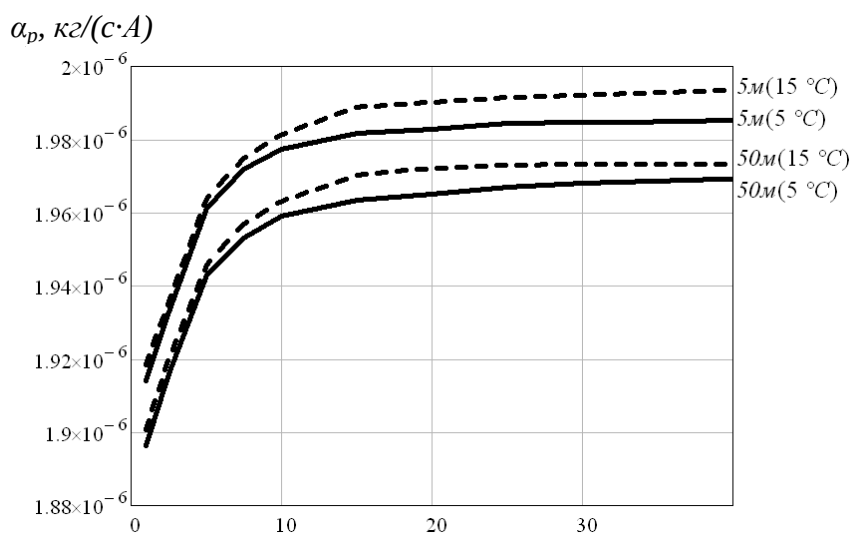


Рис. 6. Зависимости коэффициента расплавления α_p от времени сварки t_{sv} постоянным током с короткими замыканиями, $k_{t,kz} = 0,1$, $k_{kz} = 1,6$, при плотности тока в электроде $j = 20$ А/мм², диаметре электрода $d_e = 4$ мм, температуре капли $T_{kap} = 2800$ К, температуре морской воды 5°C (сплошные линии) и 15°C (пунктирные линии), глубине 5 и 50 м, соответственно давлению воды 1,496 и 5,96 атм

На рис. 6 приведены зависимости коэффициента расплавления α_p от времени сварки t_{sv} постоянным током с короткими замыканиями, при $k_{t,kz} = 0,1$ и $k_{kz} = 1,6$, плотности тока в электроде $j = 20$ А/мм², диаметре электрода $d_e = 4$ мм, температуре капли $T_{kap} = 2800$ К, температуре морской воды 5°C (сплошные линии) и 15°C (пунктирные линии), при глубине 5 и 50 м, соответственно при давлении воды 1,496 и 5,96 атм, угле наклона электрода $\phi = 45^\circ$. Видно, что при большей температуре воды и меньшей глубине (меньшем давлении на парогазовый пузырь) значения коэффициента α_p больше.

По сравнению с дуговой сваркой покрытыми электродами в воздушной среде, где с течением времени сварки коэффициент расплавления электрода α_p может резко возрастать от значений $1 \cdot 10^{-6}$ до $9 \cdot 10^{-6}$ кг/(с·А) [2; 3], в зависимости от режима сварки, при подводной сварке расплавление электрода затруднено, из-за интенсивного отвода от него тепла водой и коэффициент α_p изменяется в небольших пределах: от $1,2 \cdot 10^{-6}$ до

$2,8 \cdot 10^{-6}$ кг/(с·А). Это видно по почти горизонтальному расположению кривых значений коэффициента расплавления электрода α_p от времени сварки t_{sv} на длительном интервале времени, см. рис. 1 и 6, при штатных режимах сварки (низких значениях коэффициента кратности тока короткого замыкания k_{kz} , и коэффициента, учитывающего долю времени коротких замыканий за период сварки $k_{t,kz}$). В парогазовом пузыре помимо водяного пара, образуемого тепловой энергией столба дуги, присутствуют пары элементов покрытия и пары металла электрода. За счет более интенсивного (в 1,5...2,0 раза) испарения металла электрода при подводной сварке, по сравнению со сваркой в воздушной среде, а также благодаря снижению температуры электрода уменьшается количество расплавленного металла, который попадает в сварочную ванну шва, что приводит к существенным отличиям в режимах сварки под водой и на воздухе. Поэтому, для улучшения качества сварного шва, подводную сварку ведут при большей вкладываемой мощности за счет увеличения сварочного тока в 1,1...1,2 раза [8]. Эта рекомендация справедлива для малых глубин погружения – 1...2 м. При больших глубинах для сохранения избыточного давления дуги и, следовательно, глубины проплавления основного металла ток надо увеличивать в 2...3 раза, что делает невозможным сохранение подобия между процессами при сварке на воздухе и под водой. При подводной сварке на больших глубинах высокое давление воды уменьшает размеры парогазового пузыря. При этом вода значительно раньше вступает в контакт с жидкометаллической ванной, что ведет к интенсивному остыванию ее поверхности с резким возрастанием сил поверхностного натяжения, которые стягивают не успевший сформироваться жидкий металл в отдельные капли. Поэтому чем медленнее движется дуга, тем более плавно возрастают силы поверхностного натяжения жидкометаллической ванны и разрыва ванны на капли не происходит. При этом в покрытие электрода желательно вводить элементы, уменьшающие поверхностное натяжение металла. Вследствие быстрой кристаллизации сварочной ванны при подводной сварке сохранить приближенное подобие процессов со сваркой на воздухе можно не увеличивая сварочный ток, а уменьшая скорость сварки так, чтобы количество наплавленного металла электрода на единицу длины сварного шва оставалось постоянным. Оптимальной стратегией при подводной сварке является не увеличение тока сварки, а уменьшение скорости сварки в 1,5...3,0 раза. Желателен переход на режимы сварки без коротких замыканий со специально подобранными покрытиями электродов. Можно сочетать увеличение тока сварки с уменьшением скорости сварки, причем, чем больше глубина погружения и чем длительнее и чаще происходят короткие замыкания, тем в большей степени необходимо уменьшать скорость сварки. Так же можно рекомендовать уменьшать теплопроводность покрытия электрода, например, увеличивая его толщину.

Дальнейшие исследования процессов нагрева электрода при подводной сварке должны быть посвящены исследованию влияния давления воды на парогазовый пузырь, состоящий из паров металла, паров элементов покрытия электрода и паров воды, каплю и плавление электрода.

Выводы и предложения. Показано, что расплавление электрода при подводной дуговой сварке сталей зависит от многих параметров, приводящих к различию в характеристиках сварного шва: диаметра электрода, типа и толщины его покрытия, пространственного расположения электрода, плотности тока в нем, режима сварки, длительности непрерывного интервала сварки, наличия или отсутствия коротких замыканий и величины кратности тока короткого замыкания источника питания, давления соленой или пресной воды на глубине, на которой осуществляется сварка, и ее температуры, подогрева электрода и теплообмена между электродом и омывающей его водой посредством теплопроводности че-

рез покрытие электрода, конвекции и теплоизлучения с поверхности электрода, температуры капли электродного металла, испарения с поверхности капли.

На расплавление электрода влияют два основных фактора. Первый фактор – это нагрев капли электрической дугой, увеличивающийся при отсутствии коротких замыканий и уменьшающийся при их наличии, второй фактор – нагрев электрода проходящим током, увеличивающийся при наличии коротких замыканий, и уменьшающийся при их отсутствии. При наличии коротких замыканий тепловое воздействия дуги на каплю расплавленного металла электрода уменьшается, ввиду периодических замыканий дугового промежутка, при этом уменьшается испарение металла с капли электрода. При больших кратностях тока короткого замыкания сварочного источника питания и большим суммарным временем коротких замыканий может наблюдаться недопустимый уровень нагрева электрода проходящим током.

По сравнению с дуговой сваркой покрытыми электродами в воздушной среде, при подводной сварке расплавление электрода затруднено, из-за интенсивного отвода тепла водой. Для улучшения качества сварного шва необходимо сварку вести при большей вкладываемой мощности, за счет увеличения тока (плотности тока в электроде), подбирать режимы сварки с наименьшим количеством коротких замыканий, или вообще без них, со специально подобранными для этого покрытиями электродов, снижать скорость сварки для лучшего прогрева изделия и электрода, уменьшать теплопроводность покрытия электрода, например, увеличивая толщину покрытия.

Список использованных источников

1. *К аналитическому определению коэффициента расплавления при дуговой сварке сталей* / И. В. Пентегов, В. Н. Сидорец, О. И. Петриенко, А. М. Жерносеков // Вісник ЧДТУ. – 2012. – № 2. – С. 89-96.
2. *Изменение коэффициента расплавления покрытого сварочного электрода в процессе его нагрева и плавления при дуговой сварке сталей без коротких замыканий* / И. В. Пентегов, В. Н. Сидорец, С. В. Рымар, О. И. Петриенко // Вісник ЧДТУ. – 2012. – № 3. – С. 110-120.
3. *Расплавление покрытого сварочного электрода при дуговой сварке сталей с короткими замыканиями* / И. В. Пентегов, В. Н. Сидорец, С. В. Рымар, О. И. Петриенко // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 1 (63). – С. 93-103.
4. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – М. : Наука, 1972. – 720 с.
5. *Беляев Н. М.* Основы теплопередачи / Н. М. Беляев. – К. : Выща шк., 1989. – 343 с.
6. *Шорин С. Н.* Теплопередача / С. Н. Шорин. – М.-Л. : Гос. из-во по строительству и архитектуре, 1952. – 339 с.
7. *Подводная сварка и резка металлов* / под ред. А. Е. Асниса. – К. : ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1980. – 96 с.
8. *Технология электрической сварки плавлением* / под ред. Б. Е. Патона. – М.-К. : Машгиз, 1962. – 663 с.

УДК 621.791

В.Л. Коваленко, канд. техн. наук**Н.М. Стреленко**, канд. техн. наук**О.А. Гаєвський**, канд. техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ФЛЮСІВ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ НА СТАБІЛЬНІСТЬ ІСНУВАННЯ ДУГОВОГО РОЗРЯДУ

В.Л. Коваленко, канд. техн. наук**Н.М. Стреленко**, канд. техн. наук**О.А. Гаевский**, канд. техн. наук

НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ И ИХ КОМПОНЕНТОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Vladyslav Kovalenko, PhD in Technical Sciences**Nataliia Strelenko**, PhD in Technical Sciences**Oleh Haievskyi**, PhD in Technical Sciences

NTUU«KPI», Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF INFLUENCE OF WELDING GUMBOILS AND THEIR COMPONENTS ON THE STABILITY OF ARC DIGIT EXISTENCE

Описано важливість оцінювання стабільності дугового розряду у процесі зварювання. Представлені результати дослідження оцінки стабільності існування дугового розряду при електродуговому зварюванні під промисловими флюсами та їх окремими компонентами. Оцінювання проведене за розробленим новим комплексним критерієм оцінювання стабільності, підтверджена його адекватність.

Ключові слова: стабільність існування дугового розряду, флюси, осцилографування, комплексний коефіцієнт стабільності існування дугового розряду, з'єднання фтора.

Описана значимость оценки стабильности дугового разряда в процессе сварки. Представлены результаты исследования оценки стабильности существования дугового разряда при электродуговой сварке под промышленными флюсами и их отдельными компонентами. Оценка проведена по разработанному новому комплексному критерию оценки стабильности, подтверждена его адекватность.

Ключевые слова: стабильность существования дугового разряда, флюсы, осциллографирование, комплексный коэффициент стабильности существования дугового разряда, соединения фтора.

Described the importance of assessing the stability of arc during the welding process. The results of the study evaluating the stability of existence arc in arc welding fluxes for industrial and individual components. Evaluation conducted by developed a new comprehensive evaluation criteria of stability, confirmed its adequacy.

Key words: stability existence of arc digit, gumboils, oscillografirovanie, complex coefficient of stability existence of arc digit, connections of fluorine.

Постановка проблеми. Однією з важливих характеристик дугового розряду є стабільність його параметрів у специфічних умовах зварювання [1-7]. Вона безпосередньо впливає на перенос електродного металу, гідродинамічні умови у зварювальній ванні і, як наслідок, на формування металу шва. Проведений нами аналіз відомих способів та методик оцінювання стабільності зварювального дугового розряду показав [8], що нині єдиної комплексної методики оцінювання, яка враховує фізичні особливості його існування та технологічні властивості, немає. Практично відсутні також у літературі дані, що описують перехідні процеси, форму осцилограм, миттєві значення струму та напруги при існуванні дугового розряду на різноманітних газо-шлакових системах.

Тому нами була поставлена задача оцінювання стабільності існування дугового розряду при електродуговому зварюванні під сучасними флюсами за інноваційними комплексними критеріями оцінювання [9].

Вирішення цієї задачі потребує детального вивчення особливостей дугового розряду в умовах зварювання, яке може бути здійснене на основі цифрових осцилограм зварювальної дуги змінного струму [10-13]. На основі цього нами був розроблений комплексний критерій оцінювання стабільності існування дугового розряду [9] і, в

результаті, були проведені подальші дослідження трьох груп флюсів: безфтористі флюси АН-69, АН-44; кремніє-марганцеві флюси АН-60СМ, АН-348А, АН-67Б, АН-68; суші флюси АН-69+АНФ-6. Останні були підготовлені для планованих досліджень впливу з'єднань фтору на стабільність існування зварювальної дуги.

Вплив композицій зварювальних флюсів на стабільність існування дугового розряду. Нами було проведено дослідження стабільності існування дугового розряду у процесі зварювання під флюсами найбільш популярних марок. Для цього за методикою [14], нами проведено осцилографування процесу зварювання під флюсами марок АН-44, АН-60, АН-60СМ, АН-67Б, АН-68, АН-348, АН-69. Основна частина дослідних флюсів була надана 15 відділом Інституту електрозварювання імені Е.О. Патона. Безфтористі флюси марок АН-44 та АН-69 розроблені на кафедрі зварювального виробництва НТУУ «КПІ».

Отримані нами осцилограми електродугового зварювання під флюсами АН-44, АН-60СМ, АН-67Б, АН-68 представлені на рис. 1-2.

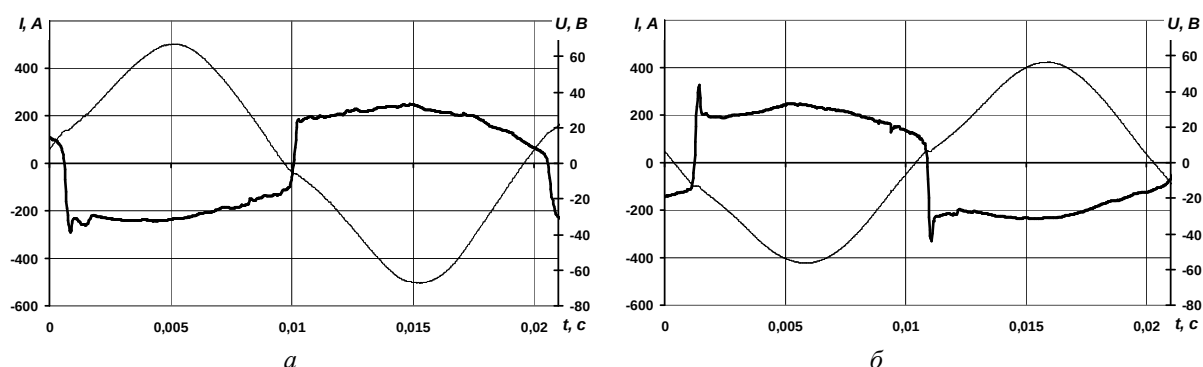


Рис. 1. Типові осцилограми зварювального струму та напруги на дузі під час електродугового зварювання під флюсами АН-44, $K_{cm} = 0,01$ (а) та АН-60СМ, $K_{cm} = 0,02$ (б)

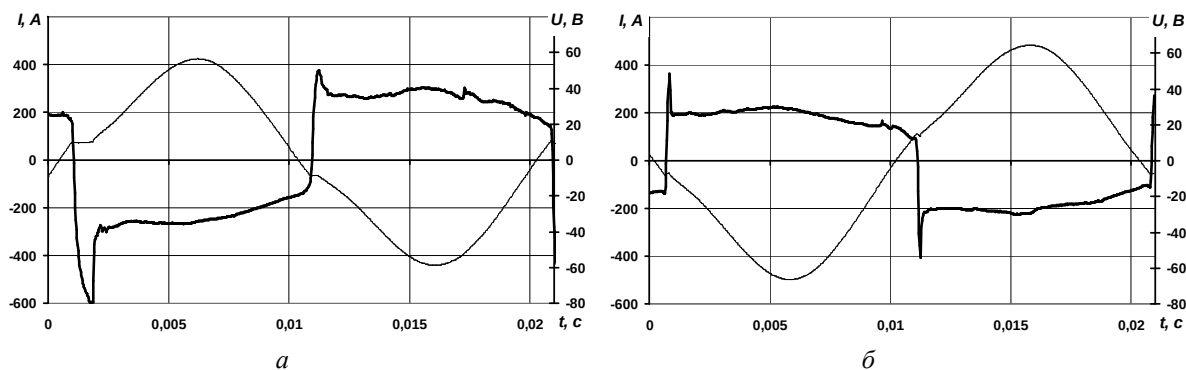


Рис. 2. Типові осцилограми зварювального струму та напруги на дузі під час електродугового зварювання під флюсами АН-67Б, $K_{cm} = 0,03$ (а) та АН-68, $K_{cm} = 0,04$ (б)

За отриманими осцилограмами та значенням розривної довжини дуги нами були проведені математичні розрахунки для визначення комплексного коефіцієнта стабільності існування дугового розряду (K_{cm}) [9] при електродуговому зварюванні під різними композиціями та марками флюсів. Результати розрахунків наведені у табл. 1 та на рис. 3.

Таблиця 1

Значення комплексного коефіцієнта стабільності існування дугового розряду (K_{cm}) під час електродугового зварювання під флюсом

Марка флюсу	Наявність у складі з'єднань фтору	Амплітудна напруга виникнення дугового розряду, В	Комплексний коефіцієнт стабільності дугового розряду (K_{cm})
1	2	3	4
АН-69	—	50/40	0,009

Закінчення табл. 1

1	2	3	4
АН-44	–	30/30	0,01
АН-60СМ	+	45/40	0,02
АН-348	+	78/30	0,029
АН-67Б	+	80/50	0,03
АН-60	+	75/60	0,03
АН-68	+	54/50	0,04

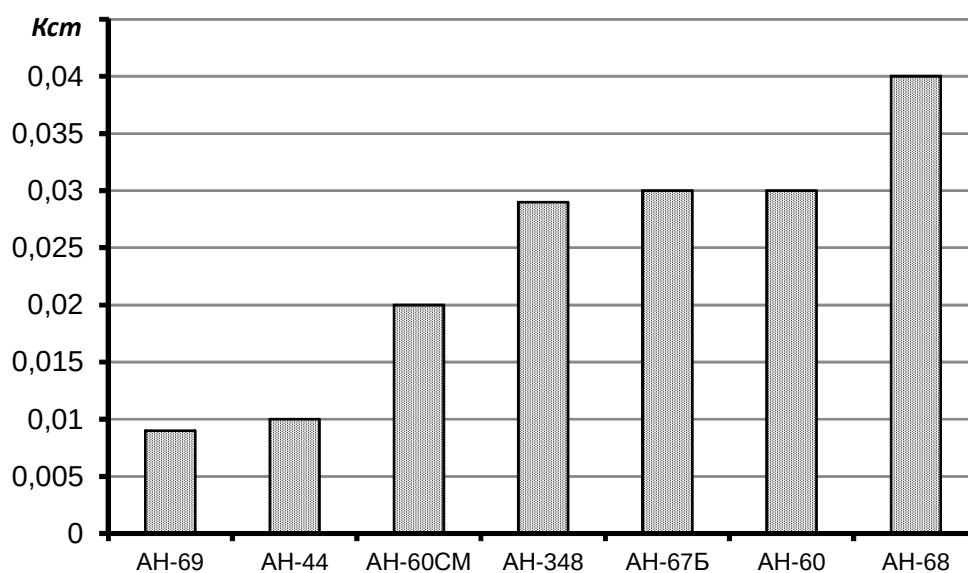


Рис. 3. Результати дослідження комплексної стабільності існування дугового розряду при електродуговому зварюванні під дослідними флюсами (меншому значенню K_{cm} відповідає краща стабільність)

За результатами розрахунків (табл. 1) можна зробити однозначні висновки, що флюси, які не мають у своєму складі з'єднань фтору, мають принципово кращу стабільність існування дугового розряду. Це флюси АН-69 та АН-44, що були розроблені на кафедрі зварювального виробництва, причому флюс АН-69 є новітньою розробкою у порівнянні з флюсом АН-44, який був розроблений у 1980-х роках.

Найгірша стабільність існування дугового розряду виявилася у флюсу АН-68, але не настільки, щоб було неможливо вести процес зварювання. Мінімальне значення зварювального струму для цього флюсу буде меншим у порівнянні з аналогічними флюсами, які мають менші значення K_{cm} .

Усі інші флюси показали середні результати. Під усіма флюсами ніяких проблем з початком зварювання не було: дуга виникала стабільно, процес зварювання відбувався без особливостей, тому усі флюси можуть бути рекомендовані для подальшого використання на звичайних режимах. Флюси АН-69, АН-44 та АН-60СМ можна рекомендувати для зварювання на мінімальних значеннях струму.

Вплив співвідношення компонентів у складі зварювальних флюсів на стабільність існування дугового розряду. Для визначення впливу певних компонентів флюсу на стабільність існування дугового розряду нами було проведено осцилографування процесу електродугового зварювання під сумішшю флюсів (рис. 4-6). Базовим нами був обраний безфтористий флюс АН-69, який показав найменше значення K_{cm} , тобто найкращу стабільність (табл. 1). Як флюс-домішувач нами обраний флюс АНФ-6, який у своєму складі має 65 % CaF_2 . Флюс АНФ-6 був обраний нами тому, що складається практично повністю з CaF_2 , який, як відомо, має великий потенціал іонізації. Це важко-

іонізуючий компонент, що суттєво погіршує стабільність існування дугового розряду (табл. 1).

Суміш флюсів для дослідження була зроблена у пропорціях від 1:1 до 1:0, тобто мінімальне співвідношення флюсів АН-69 та АНФ-6 було 50 % / 50 %, максимальне 100 % / 0 % з кроком у 10 %.

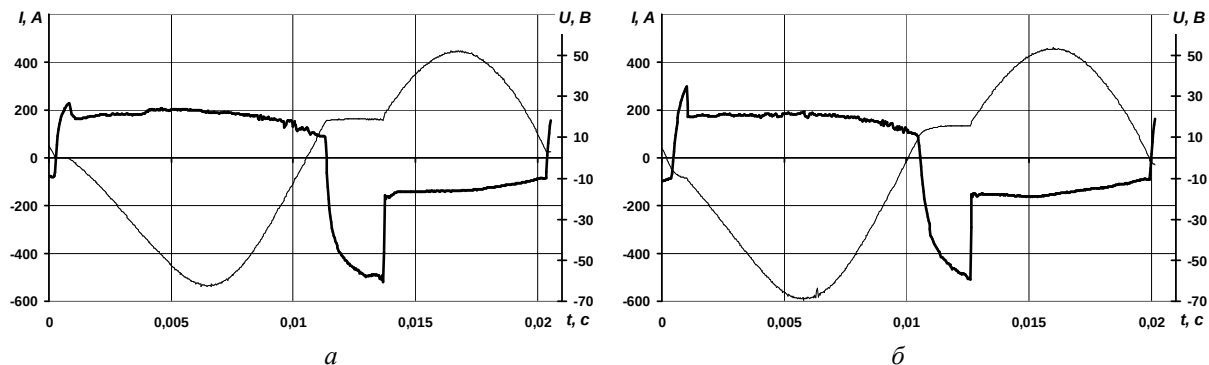


Рис. 4. Типові осцилограми зварювального струму і напруги на дузі під час електродугового зварювання під сумішшю флюсів АН-69 50 %, АНФ-6 50 %, $K_{cm}=0,0485$ (а) та АН-69 60 %, АНФ-6 40 %, $K_{cm}=0,0478$ (б)

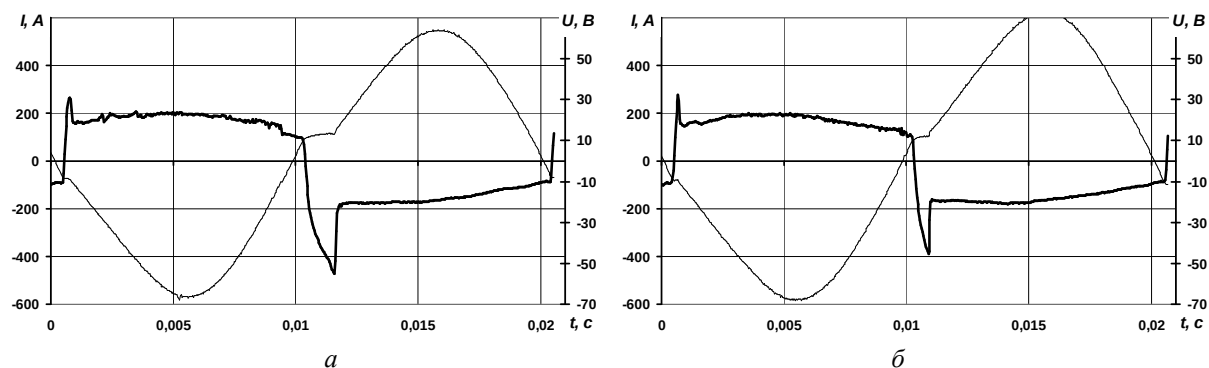


Рис. 5. Типові осцилограми зварювального струму і напруги на дузі під час електродугового зварювання під сумішшю флюсів АН-69 70 %, АНФ-6 30 %, $K_{cm}=0,045$ (а) та АН-69 80 %, АНФ-6 20 %, $K_{cm}=0,026$ (б)

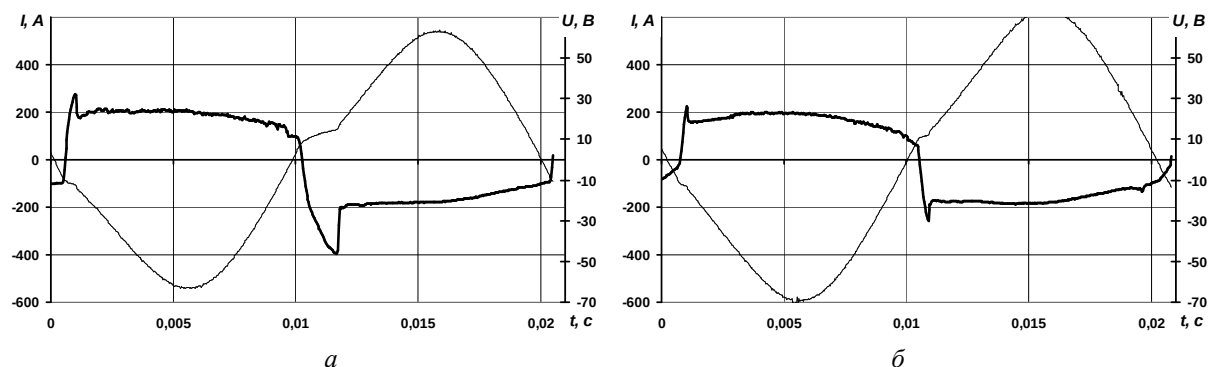


Рис. 6. Типові осцилограми зварювального струму і напруги на дузі під час електродугового зварювання під сумішшю флюсів АН-69 90 %, АНФ-6 10 %, $K_{cm}=0,019$ (а) та АН-69 100 %, АНФ-6 0 %, $K_{cm}=0,009$ (б)

Аналіз отриманих осцилограм показує, що вміст CaF_2 суттєво впливає на форму осцилограм. Форма осцилограм плавно змінюється у процесі зменшення кількості фтору у суміші (рис. 4-6) до типового вигляду осцилограм чистих флюсів (рис. 6, б).

Після математичного оброблення отриманих даних та визначення комплексного коефіцієнта стабільності існування дугового розряду (K_{cm}) (табл. 2) впливає, що K_{cm} адекватно та повно відображає стабільність дуги. Чим більше у складі суміші було з'єднань фтору, тим більше значення K_{cm} отримано (стабільність дуги гірша), і ця залежність плавно змінюється разом зі зміною кількості з'єднань фтору в суміші (рис.7).

Таблиця 2

Результати математичної обробки осцилограм електродугового зварювання при різних співвідношеннях флюсів

Співвідношення флюсів		Комплексний критерій стабільності існування дугового розряду (K_{cm})
АН-69, %	АНФ-6, %	
50	50	0,0485
60	40	0,0478
70	30	0,045
80	20	0,026
90	10	0,019
100	0	0,009

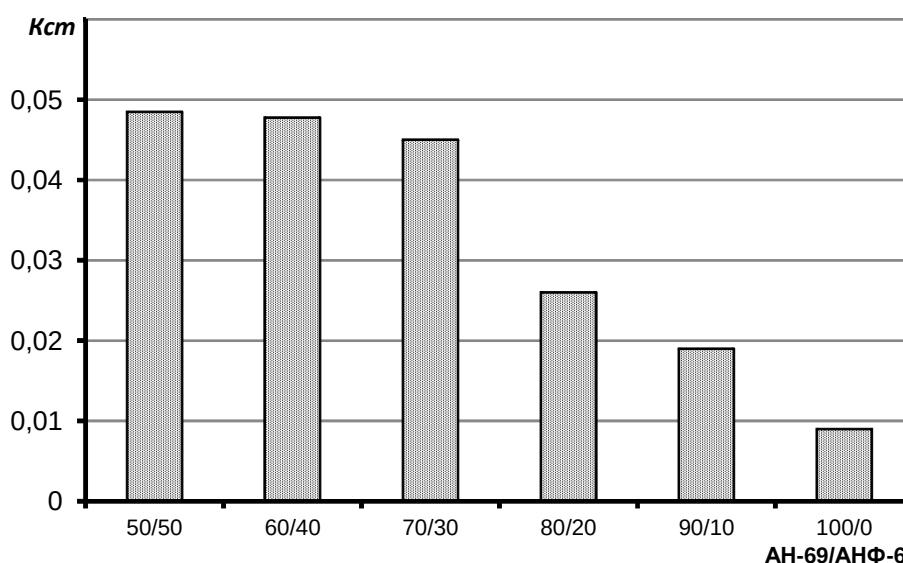


Рис. 7. Результати дослідження комплексної стабільності існування дугового розряду під час електродугового зварювання під дослідними сумішами флюсів АН-69 та АНФ-6 (меншому значенню K_{cm} відповідає краща стабільність)

Висновки. Завдяки використанню сучасного комп'ютерного обладнання вперше показані детальні осцилограми існування дугового розряду під різними промисловими флюсами та їх сумішами. Визначений вплив різних композицій зварювальних флюсів на стабільність існування дугового розряду. Встановлено, що безфтористі флюси апіорі мають кращу стабільність, ніж флюси, у складі яких містяться з'єднання фтору.

Проведені дослідження впливу з'єднання фтору на комплексний коефіцієнт стабільності існування дугового розряду, які показали пряму кореляцію між значенням коефіцієнта та вмістом фтору у суміші. Показана можливість використання комплексного критерію стабільності оцінки процесів електродугового зварювання та наплавлення плавким дротом.

Рекомендується продовжити дослідження для інших способів зварювання, зокрема, ручного дугового штучними електродами та в середовищі суміші газів.

Список використаних джерел

1. Хренов К. К. Электрическая сварочная дуга / К. К. Хренов. – М. : Машгиз, 1949. – 204 с.
2. Патон Б. Е. Об оценке стабилизирующих свойств флюса для автоматической сварки / Б. Е. Патон // Автомат. сварка. – 1950. – № 2. – С. 85-89.
3. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 334 с.
4. Мазель А. Г. Технологические свойства сварочной дуги / А. Г. Мазель. – М. : Машиностроение, 1969. – 177 с.

5. *Багрянский К. В.* Теория сварочных процессов / К. В. Багрянский, З. А. Добротина, К. К. Хренов. – К. : Вища школа, 1976. – 424 с.
6. *Gupta S. R.* Process stability and spatter generation during dip tranfer in welding / Gupta P. C., Rehfeldt D // *Welding Review*. – 1988. – № 11. – P. 232-241.
7. *Дедюх Р. И.* Теория сварочных процессов. Физические и технологические свойства электросварочной дуги : учебное пособие / Р. И. Дедюх. – Томск : Изд-во ТПУ, 2002. – 92 с.
8. *Жданов Л. А.* Методики оценки сварочно–технологических свойств флюсов / Л. А. Жданов, В. Н. Коперсак, В. Л. Коваленко // *Современные сварочные флюсы и опыт их применения в промышленности : сборник докладов международного научно-технического семинара ; Запорожье, 29-31 августа 2005 г. – Запорожье, 2005. – С. 41-43.*
9. *Жданов Л. А.* Шляхи виключення суб'єктивних факторів та новий комплексний критерій оцінки стабільності існування дугового розряду при випробуванні зварювальних матеріалів / Л. А. Жданов, В. Л. Коваленко // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Машинобудування. – 2011. – № 61. – С. 52-56.*
10. *Компьютерный анализ характеристик дуги переменного тока / Л. А. Жданов, А. М. Сливинский, В. Т. Котик, В. Н. Коперсак, В. Л. Коваленко, Ю. А. Пырч // Сварщик. – 2003. – № 2. – С. 32.*
11. *Дослідження зварювальної дуги змінного струму за допомогою персонального комп'ютера / Л. А. Жданов, А. М. Сливінський, В. М. Коперсак, В. Т. Котик, В. Л. Коваленко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2004. – № 3. – С. 49-55.*
12. *Технические системы записи параметров дуговых процессов на переменном токе / Л. А. Жданов, В. Л. Коваленко, В. Т. Котик, К. О. Зворыкин // Технологические системы. – 2005. – № 2. – С. 65-70.*
13. *Жданов Л. А.* Измерительный комплекс для фиксации электрических параметров сварки на переменном токе / Л. А. Жданов, В. Л. Коваленко, К. О. Зворыкин // *Технологические системы. – 2005. – № 4. – С. 40-45.*
14. *Коваленко В. Л.* Осциллографирование энергетических параметров дуговых процессов при сварке на переменном токе промышленной частоты / В. Л. Коваленко // *Прогрессивные технологии и процессы наукоемкого машиностроения. Технологические системы : материалы международной межотраслевой научно-технической конференции ; Гостомель, 25-26 сентября 2008 г. – 2008. – № 3. – С. 91.*

УДК 621.791.4

О.О. Новомлинець, канд. техн. наук**І.В. Завальна**, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Є.В. Половецький, канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ, м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ У ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ

О.А. Новомлинец, канд. техн. наук**И.В. Завальная**, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Е.В. Половецкий, канд. техн. наук

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, г. Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТЕРМОЭЛЕМЕНТОВ

Oleh Novomlynets, PhD in Technical Sciences**Iryna Zavalna**, PhD student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Yevhen Polovetskyi, PhD in Technical Sciences

Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE FEATURES OF PRODUCTION OF PERMANENT CONNECTIONS FOR MAKING THERMOELEMENTS

Наведено короткий літературний огляд особливостей отримання нероз'ємних з'єднань при виготовленні термоелементів. Проаналізовано тенденції розвитку та сфері використання термоелементів. Розглядаються способи комутації віток термоелементів, їх переваги та недоліки. Наведені основні вимоги до матеріалів віток термоелементів. Проаналізовано вимоги щодо отримання якісних нероз'ємних з'єднань. Розглянуто питання підбору режиму паяння термоелементів, як одного з найпоширеніших способів комутації віток термоелементів. Наведено коротку характеристику телуриду вісмуту, як традиційного напівпровідникового матеріалу для виготовлення термоелементів. Встановлено задачі щодо подальшого розроблення перспективного способу отримання нероз'ємного з'єднання напівпровідникового матеріалу Bi_2Te_3 з комутуючою мідною пластиною.

Ключові слова: термоелемент, комутація, телурид вісмуту, мідь.

Приведен краткий литературный обзор особенностей получения неразъемных соединений при изготовлении термоэлементов. Проанализированы тенденции развития и области использования термоэлементов. Рассматриваются способы коммутации веток термоэлементов, их преимущества и недостатки. Приведены основные требования к материалам веток термоэлементов. Проанализированы требования относительно получения качественных неразъемных соединений. Рассмотрены вопросы подбора режима паяния термоэлементов, как одного из самых распространенных способов коммутации веток термоэлементов. Приведена краткая характеристика теллурида висмута, как традиционного полупроводникового материала для изготовления термоэлементов. Установлены задачи относительно дальнейшей разработки перспективного способа получения неразъемного соединения полупроводникового материала Bi_2Te_3 с коммутирующей медной пластиной.

Ключевые слова: термоэлемент, коммутация, теллурид висмута, медь.

The short literary review of the features of production of permanent connections for making thermoelements is provided. Tendencies of development and area of use of thermoelements are analysed. The ways of switching of branches of thermoelements, their advantages and shortcomings are considered. The main requirements to materials of branches of thermoelements are provided. The requirements concerning receiving high-quality permanent connections are analysed. The questions of selection of a mode of soldering of thermoelements, as one of the most widespread ways of switching of branches of thermoelements are considered. The short characteristic of bismuth telluride, as traditional semiconductor material for production of thermoelements is provided. The tasks, rather further development of a perspective way of receiving of permanent connection of the semiconductor material Bi_2Te_3 with a switching copper plate are established.

Key words: thermoelement, switching, bismuth telluride, copper.

Постановка проблеми. В умовах стрімкого зростання світового споживання енергії, що призводить до скорочення запасів природного палива, неминуче виникає проблема пошуку альтернативних джерел енергії. Одним із перспективних варіантів є термоелектричні перетворювачі, які працюють на основі взаємоперетворення теплової і електричної енергії.

Масове впровадження термоелектриків може вирішити проблему перетворення паразитного тепла, що виділяється під час роботи машин, в електроенергію. Наприклад, перетворення тепла від двигуна внутрішнього згорання автомобіля в електричний струм приведе до істотної економії палива (за розрахунками до 25 %). Термоелектрики також можуть бути затребувані у виробництві ефективних охолоджувачів. У порівнянні з традиційними компресорними холодильними установками термоелектрики надзвичайно компактні і не містять рухливих частин, що забезпечує їх високу надійність (термін служби до 200 000 год, тобто близько 25 років). Крім того, компактні термоелектричні охолоджувачі можуть бути інтегровані у пристрої, що вимагають локального охолодження однієї або декількох частин [1].

Очікується, що вже в найближчому майбутньому ефективність термоелектричних матеріалів виявиться достатньою для витіснення компресорних холодильних агрегатів термоелектричними. Очевидна й інша перевага термоелектриків – їх екологічна привабливість, оскільки вони не містять шкідливих хімічних сполук [1].

Слід зазначити, що є сфери, де термоелектрика є необхідною та незамінною. Такі перетворювачі використовуються як джерела електрики на космічних апаратах, застосовуються в портативних холодильних агрегатах, в електронному, медичному й науковому устаткуванні, зокрема для охолодження інфрачервоних приймачів і оптоелектронних обладнань, для отримання корисної енергії за рахунок відпрацьованих газів в автомобілях. Однак для нових та економічно вигідних промислових застосувань термоелектричних перетворювачів енергії необхідно істотне підвищення їх ефективності [2].

Враховуючи широке застосування термоелектричних перетворювачів у багатьох галузях промисловості, питання отримання нероз'ємних з'єднань під час виготовлення термоелементів є актуальним. Так, наприклад, відомо, що у 2012 році доктор Сеунг Кім разом з доктором Йоні Адоній інженерної школи університету Ле Турно отримали грант у розмірі \$129,000 на проведення досліджень та розроблення мікрохвильової технології зварювання телуриду вісмуту з міддю, через Ni та Al порошкові прошарки, для виготовлення термоелектричних генераторів [3; 4].

На сьогодні є різні методи комутації термоелементів: пайка, спільне пресування термоелектричних віток і комутаційного матеріалу, напилення комутаційних матеріалів у вакуумі або інертному газі, гальванічне або хімічне нанесення комутаційного матеріалу, контактне електрозварювання та мікрохвильове зварювання через порошкові прошарки. Однак всі ці способи мають недоліки і не можуть повною мірою задовольнити вимоги до якості нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною.

Тому головною метою цієї роботи є літературний огляд щодо особливостей отримання нероз'ємних з'єднань під час виготовлення термоелементів та визначення пряму проведення подальших досліджень щодо розроблення нової технології зварювання напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Термоелектрика – це прогресуючий, пріоритетний науково-технічний напрямок, в основі якого лежать дослідження явищ термоелектричного перетворення енергії та їх використання для створення джерел електричної енергії, приладів охолодження та вимірювальної техніки [5].

Термоелемент – електричний ланцюг, складений з двох або декількох провідників (напівпровідників), що чергуються (рис. 1). Якщо місця з'єднань провідників підтримувати при різних температурах, то на кінцях ланцюга виникає електрорушійна сила (Е.Р.С.), а при замиканні ланцюга в ній протікає електричний струм і навпаки – при пропусканні по ланцюгу електричного струму одні її контакти нагріватимуться, а інші – будуть охолоджуватися.

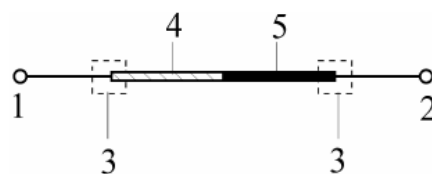


Рис. 1. Модель термоперетворювача безпосереднього нагріву:
1, 2 – електричні виводи, 3 – термостат, 4, 5 – вітки термопар

Основу термоелектричних явищ складають три важливі ефекти: Зеебека, Пельтьє та Томсона.

Ефект Зеебека, що полягає у виникненні напруги у колі, що складається із двох різнорізних металічних провідників, які підтримуються при різних температурах (рис. 2), математично можна записати у вигляді:

$$E_{AB} = S_{AB} \cdot \Delta T, \quad (1)$$

де E_{AB} – напруга в ефекті Зеебека;

S_{AB} – коефіцієнт термо-Е.Р.С (коефіцієнт Зеебека);

ΔT – градієнт температури.

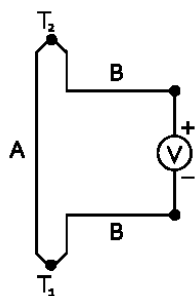


Рис. 2. Принципова схема ефекту Зеебека [2]

Вироблена напруга в ефекті Зеебека є пропорційною до різниці температур між двома переходами.

Суть ефекту Пельтьє полягає в тому, що при проходженні струму на межах двох різних провідників на одному кінці відбувається поглинання тепла, а на іншому – його виділення.

Ефект Пельтьє значно сильніше проявляється на спаях різних типів напівпровідників. Залежно від напрямку протікання електричного струму через р-п-переходи внаслідок взаємодії електронів (n) і дірок (p), а також їх рекомбінацію, енергія або поглинається, або виділяється, у зв'язку з чим поглинається або виділяється тепло. Системи напівпровідникових пар

р- та n-типу дозволяють створювати охолоджуючі елементи – термоелектричні модулі Пельтьє достатньо великої потужності.

Ефект Томсона полягає в перенесенні теплоти струмом, що протікає через однорідний матеріал, в якому створений градієнт температури. Якщо прикласти градієнт температури, причому напрям струму відповідатиме руху електронів від гарячого кінця до холодного, то під час переходу від більш гарячого перерізу до більш холодного (рис. 3), електрони передають надлишкову енергію оточуючим атомам (виділяється теплота), а у зворотному напрямку струму, рухаючись від більш холодної ділянки до більш гарячої, вони поповнюють свою енергію за рахунок оточуючих атомів (теплота поглинається матеріалом) [6].

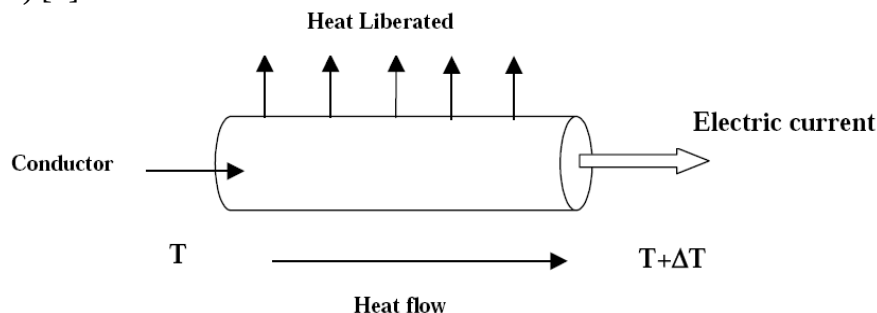


Рис. 3. Схема дослідів, який демонструє ефект Томсона [6]

Кількість теплоти, яка виділяється або поглинається, можна визначити через співвідношення [7]:

$$dQ = \sigma I \frac{dT}{dx} dx, \quad (2)$$

де dQ – кількість теплоти, яка виділяється або поглинається на ділянці провідника dx ;

I – сила струму;

T – температура;

σ – коефіцієнт Томсона.

У сучасній теорії термоелектрики використовують поняття «добротність» ZT . «Добротність» ZT вказує, що добрі термоелектричні матеріали повинні мати високе значення коефіцієнта Зеебека, високу електропровідність (для зменшення нагрівання Джоуля через електричний опір) та низьку теплопровідність (для зведення до мінімуму втрат тепла).

Одним із перспективних напрямків підвищення ефективності термоелектричного перетворення енергії є використання нових підходів, заснованих на висновках, що сліднують із узагальненої теорії термоелектрики з використанням сформульованого Л.І. Анатинчуком закону термоелектричної індукції [8]. Наслідком цієї теорії стала повна класифікація всіх видів термоелектричного перетворення енергії, яку вдалося звести у єдину таблицю, за аналогією до Періодичної таблиці хімічних елементів. Така класифікація дала можливість прогнозувати нові варіанти термоелектричних перетворювачів та здійснити системний підхід у процесі планування досліджень у термоелектриці. Відповідно до узагальненої теорії були розроблені методи відкриття принципово нових типів термоелементів, які базуються на індукції термоелектричного струму. Таким чином, було знайдено більше 20 нових типів термоелементів, запатентованих у США, Японії, Англії, Франції тощо. Суттєво розширилася сфера застосування термоелектрики [9].

З відкриттям нових матеріалів, що володіють вищими «коефіцієнтами добротності» ZT (наприклад, $ZT > 1$), відкрилися нові можливості застосування термоелектричних технологій. Про це свідчить величезний інтерес до термоелектричних матеріалів у тематичних публікаціях (рис. 4) [10].

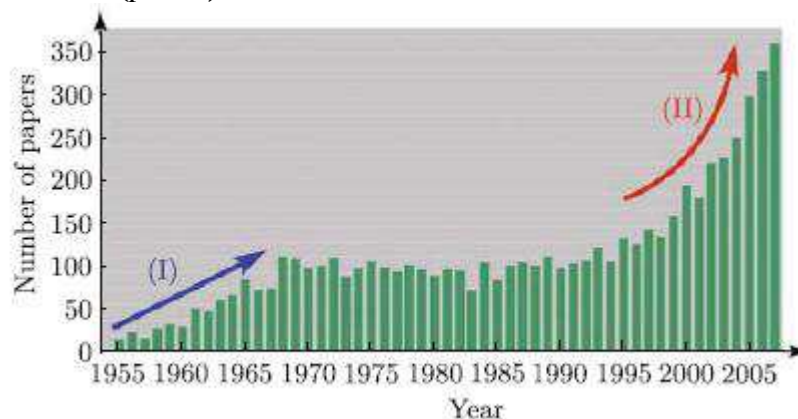


Рис. 4. Ріст кількості публікацій, які відносяться до термоелектрики у період з 1955 р. по 2007 р. [10]

На [5] наведено узагальнений перелік практичного використання термоелектричних перетворювачів (рис. 5):

- використання відпрацьованого тепла двигунів (автомобільних, корабельних та ін.);
- автономні джерела електроенергії для забезпечення роботи котелень, установок з перероблення відходів та ін.;
- джерела живлення для катодного захисту нафто- і газопроводів;
- перетворення тепла природних джерел (наприклад, геотермальних вод) в електричну енергію;

- забезпечення живлення різних пристроїв телеметрії та автоматики на об'єктах, віддалених від ліній електропередачі;
- вимірювання теплових потоків (теплоти);
- забезпечення автономним живленням малопотужних електронних пристроїв (бездротові датчики) за рахунок накопичуваної енергії, яка збирається за наявності мінімальних перепадів температур (менше 10°C);
- отримання електричної енергії на сонячних концентраторах за рахунок різниці температур гарячого і охолодженого теплоносія в контурі.

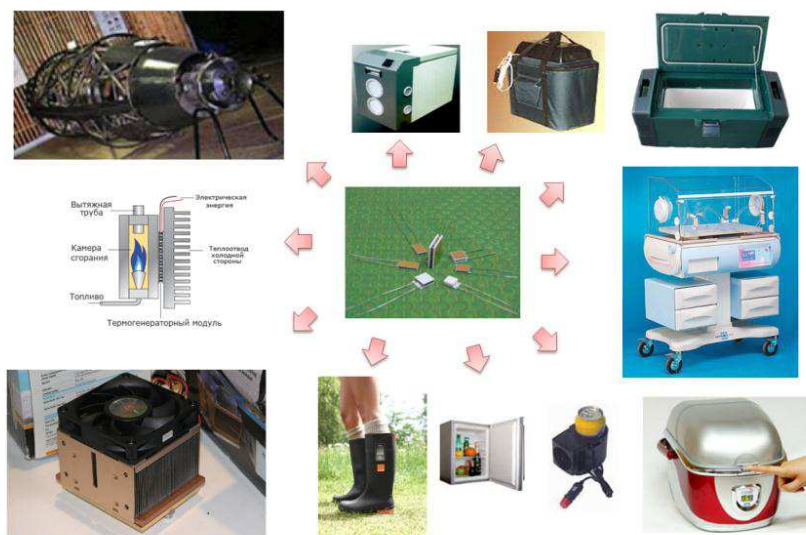


Рис. 5. Різноманітність сфер застосування термопарного елемента [11]

Виклад основного матеріалу. Комутація – складний технологічний процес, оскільки необхідно отримати нероз'ємні, сумісні за фізико-хімічними властивостями контактні з'єднання між гілками р- і n- типів провідності при мінімумі втрат на електро- і теплопереходах, при високій стабільності, достатній механічній міцності і стійкості до теплоперемінам (рис. 6).

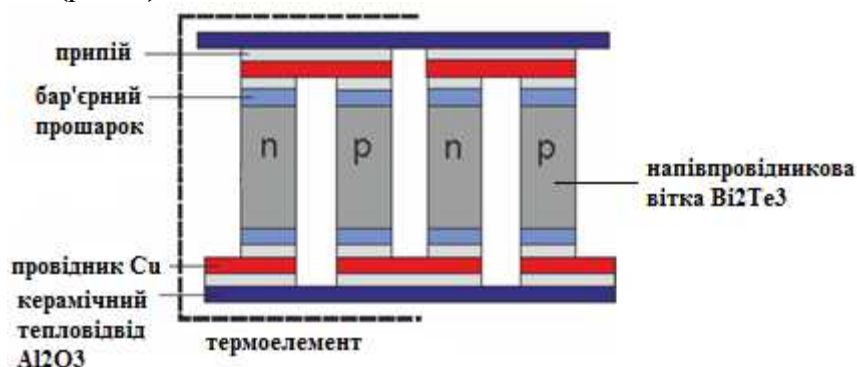


Рис. 6. Схема комутації віток термоелемента

Залежно від конструктивних особливостей модуля і режимів його роботи, втрати на контактних і комутаційних опорах можуть становити від декількох відсотків до декількох десятків відсотків від максимально можливих значень [12]. Тому для отримання якісних нероз'ємних з'єднань під час виготовлення термоелементів висувають такі вимоги:

- реальний розмір термоелемента повинен бути: шар провідника становить 10-1000 мкм; бар'єрний шар 1-100 мкм; шар припою 10-100 мкм; розмір напівпровідників, які використовуються у вітках термоелемента, знаходиться в діапазоні від $50 \times 50 \times 50$ до $500 \times 500 \times 500$ мкм [11];

- найпривабливішим для комутації віток є використання металів з високою тепло- і електропровідністю, наприклад, міді, срібла;

- використання мідної комутації вимагає нанесення на вітки модуля товстих антидифузійних шарів, наприклад, для зменшення дифузії міді в термоелектричний матеріал товщина антидифузійного шару Ni не повинна бути меншою, ніж 150-200 мкм, що призводить до збільшення внутрішніх напружень, які послаблюють адгезію Ni до термоелектричного матеріалу (дифузія міді у термоелектричний матеріал з тонкими антидифузійними шарами Ni, як і суттєве послаблення адгезії Ni до термоелектричного матеріалу з товстими антидифузійними шарами, є головними чинниками зменшення ресурсу роботи модулів з мідно-нікелевою комутацією).

Аналіз наявних експериментальних даних у сфері розроблення термоелектричних матеріалів свідчить про наступне [12]:

- основну частину термоелектричних матеріалів складають системи на основі Bi, Te, Se, Sb, Cd, вживані для створення генераторних і холодильних термоелектричних пристроїв;

- розвиток термоелектричних матеріалів йде шляхом розроблення багатокомпонентних систем з введенням великої кількості легуючих добавок;

- розроблення багатокомпонентних систем йде шляхом експериментального підбору компонентів, що входять у термоелектричні матеріали;

- дослідження властивостей термоелектричних матеріалів засноване на експериментальному визначенні характеристик розроблених складів, що породжує невиправдану кількість дрібних науково-дослідних робіт у вказаному напрямі.

Для вирішення питання про вибір складу матеріалу з необхідними властивостями для цілей термоелектричного перетворення енергії необхідно провести аналіз наявних нині термоелектричних властивостей матеріалів одно- і двокомпонентного складу і виявити їх закономірності і взаємозв'язки.

До термоелектричних матеріалів з погляду ефективності перетворення енергії і стабільності їх термоелектричних властивостей висуваються такі вимоги [12]:

- висока механічна й електрична міцність;

- слабка температурна залежність характеристик у робочому діапазоні температур;

- висока термоефективність;

- висока технологічність виготовлення матеріалів;

- висока хімічна стійкість;

- низька вартість напівпровідникових термоелектричних матеріалів тощо.

Як зазначають автори [13], одним з найефективніших традиційних термоелектричних матеріалів, використовуваних сьогодні для виготовлення робочих елементів термоелектричних приладів і обладнань, є телурид вісмуту Bi_2Te_3 . Характерною рисою монокристала Bi_2Te_3 є наявність площин спайності, по яких він легко розколюється, у силу чого його з достатнім ступенем точності можна вважати шаруватим. Крім того, монокристал Bi_2Te_3 має досить добре виражену анізотропію теплопровідності й електропровідності. Теплопровідність цього кристала уздовж площин спайності в 2-3 рази перевищує його теплопровідність у напрямку, перпендикулярному цим площинам. Цілком аналогічно електропровідність Bi_2Te_3 уздовж площин спайності для матеріалу р-типу в 2,7 раза більше, а для матеріалу n-типу – в 4-6 разів більше, ніж електропровідність у напрямку, перпендикулярному площинам спайності. Із цієї причини з метою максимізації термоелектричної добротності термоелектричні модулі з монокристалів виготовляються так, щоб електричний струм і градієнт температури були паралельні площинам спайності.

Є.П. Сабо у своїй роботі [14] зазначає, що термоелектричні прилади на основі Bi_2Te_3 знайшли своє застосування в тих сферах техніки, в яких максимальні значення перетворюваної енергії не перевищують 300-500 Вт (орієнтовно в діапазоні температур

80°C-250°C) або коли висуваються високі вимоги до довговічності, надійності і стійкості приладів до зовнішніх дій.

Л.І. Анатичук та ін. [15] зазначають, що з'єднання віток р- і n-типів в одне електричне коло, зазвичай, здійснюється металевими пластинами з міді, нікелю, заліза, кобальту, товщина яких залежить від сили струму. Вибір матеріалу комутації визначається відсутністю або мінімальною хімічною взаємодією його з напівпровідником і близькими коефіцієнтами лінійного розширення.

На сьогодні для комутації термоелементів найширше використовується метод паяння і спільного гарячого пресування [16-18]. Як припій використовують сплави Sn-Sb, Sn-Cu, Sn-Ag, Sn-Ag-Bi-Cu, Sn-Bi або Bi-Sb [11; 19]. Автором [20] було запропоновано режим паяння віток в термоелемент або ряд термоелементів:

- паяння віток n- або р-типів провідності в термоелемент або в ряд термоелементів проводять з використанням і того ж самого припою;

- при максимальному значенні робочої температури гарячого спаю (з'єднання, яке знаходиться в зоні нагріву) модуля до 120°C використовують багатокомпонентний припій, який містить від 10 до 52 мас. % Sn, від 15 до 48 мас. % In, від 0 до 10 мас. % Cd, від 0 до 10 мас. % Sb, решта – Pb;

- при максимальному значенні робочої температури гарячого спаю модуля до 290°C використовують багатокомпонентний припій, який містить від 1,2 до 5,0 мас. % Sn, від 1,5 до 6 мас. % Ag, решта – Pb;

- паяння проводять протягом 5-10 секунд при температурі, що перевищує температуру ліквідусу припою від 20 до 30°C.

Метод паяння передбачає багато операцій і стадій, вимагає детального підбору флюсів, припоїв, а також повного видалення флюсу після пайки [16]. Крім того, в разі високотемпературної пайки комутації термоелектричний матеріал зазнає різкої термічної дії. Зазвичай, припої мають високі термічні та електричні опори, можлива також дифузія домішок з припою в напівпровідник [18]. Тому такий метод переважно використовується для комутації низькотемпературних (холодильних) модулів.

У цілому спільне пресування віток і комутацій – це високопродуктивна технологія. Однак за підвищених температур і тривалих циклічних навантажень електричний опір на границі «комутуюча пластина-напівпровідниковий матеріал» зростає, що зменшує надійність та ресурс роботи модулів [21].

У роботі Є.П. Сабо [22] зазначається, що при створенні спільним пресуванням сегментованих віток з низько- і середньотемпературних матеріалів певні труднощі викликає необхідність бічного прикладання тиску до порошків або брикетів сплавів на основі телуридів вісмуту і сурми. Уникнути порушення структури скомпактованого матеріалу у процесі комутації з використанням тиску можна, якщо локалізувати розігрів у досить тонкому приконтakтному шарі, внесок якого в термоелектричну ефективність незначний. Враховуючи те, що прижимний контакт має підвищений електроопір, найбільш просто здійснити локальне розігрівання пропусканням електричного струму – контактне електрозварювання.

При контактному електрозварюванні металів використовуються струми, що розплавляють усю приконтakтну область, але для зазвичай нетермостійких напівпровідників таке розігрівання викликає руйнування вітки високою термічною напругою. При пропусканні через прижимний контакт помірного струму Джоулівське тепловиділення, зосереджене в окремих контактних плямах, викликає локальну деформацію, руйнування окисних плівок і утворення окремих центрів схоплювання. Електроопір контакту різко падає і, відповідно, зменшується локальне Джоулівське розігрівання. В результаті центри схоплювання не встигають розростися. Контакт, здійснюваний по малій кількості плям невеликої площі, має низьку механічну міцність і недостатньо електро- та теплопровідність [22].

Ефективніше зварювання струмом можна здійснити через шар матеріалу у вигляді порошку, що дозволяє розширити область Джоулівського тепловиділення і використати зварювальний струм підвищеної сили без небезпеки руйнування контакту термічною напругою [22].

Щодо термічного напилення, то перевагами цього способу отримання комутаційних шарів металів у вакуумі є можливість автоматизації процесу та висока технологічність. Однак такий метод вимагає складного та дорогого обладнання і використовується переважно для нанесення тонких антидифузійних шарів [15].

Комутація термоелементів при технології плазмового нанесення антидифузійних та комутаційних шарів на напівпровідникові вітки модулів здійснюється за допомогою порошоків металів або сплавів, розпилених у струмені плазми. Міцність зчеплення комутаційних шарів, отриманих плазмовим напиленням, з термоелектричним матеріалом знаходиться в межах $45 \div 75 \text{ кг/см}^2$, контактний опір $(3 \div 16) \cdot 10^{-6} \text{ Ом/см}^2$ [21; 23].

Методи хімічного та гальванічного нанесення металів на напівпровідники дають можливість уникнути труднощів, що виникають унаслідок термічного оброблення термоелементів у разі пайки, пресування, плазмового напилення, заливки розплавом, оскільки гальванічні процеси протікають за низьких температур. Гальванічний метод нанесення антидифузійних шарів та комутації простий у виконанні, не вимагає дорогого обладнання і дає можливість ефективно регулювати товщину осаджених шарів.

Висновки

1. Одним із перспективних альтернативних джерел енергії є термоелектричні перетворювачі.

2. Сутність явища термоелектричного перетворення енергії полягає у тому, що якщо місця з'єднань провідників підтримувати при різних температурах, то на кінцях ланцюга виникає ЕРС, а при замиканні ланцюга в ній протікає електричний струм і навпаки – при пропусканні по ланцюгу електричного струму одні її контакти нагріватимуться, а інші – будуть охолоджуватися.

3. Значний інтерес визивають термоелементи на основі напівпровідникових матеріалів, які мають низьку теплопровідність і високу рухливість носіїв заряду (Bi_2Te_3 , PbTe тощо).

4. Наявні на сьогодні способи отримання нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною під час виготовлення термоелементів (паяння, спільне пресування, напилення, гальванічне та хімічне нанесення комутаційних матеріалів) мають недоліки і не можуть повною мірою задовольнити вимоги до якості нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною.

5. Актуальним є розроблення нового способу отримання нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною у процесі виготовлення термоелементів.

6. Основними вимогами до отримання нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу Bi_2Te_3 з мідною комутуючою пластиною при виготовленні термоелементів є:

- необхідність нанесення на вітки модуля товстих антидифузійних шарів;
- температура процесу не повинна перевищувати $252\text{--}262^\circ\text{C}$, при максимальному значенні робочої температури гарячого спаю модуля до 120°C , та $316\text{--}331^\circ\text{C}$, при максимальному значенні робочої температури гарячого спаю модуля до 290°C ;
- пластична деформація матеріалів, що зварюється, не повинна перевищувати 0,5-1 %.

Список використаних джерел

1. Анисимов М. А. Новые термоэлектрические материалы на основе редкоземельных гексаборидов для криогенных рефрижераторов и сенсоров / М. А. Анисимов // Материалы 51-й научной конференции Московского физико-технического института. – М., 2008. – С. 191.
2. Фреїк Д. М. Досягнення і проблеми термоелектрики 1. Історичні аспекти (Огляд) / Д. М. Фреїк, Л. І. Никируй, О. С. Криницький // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т. 13, № 2. – С. 297-318.

3. *LeTourneau University* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.letu.edu/news/2012/WeldingMJEResearchGrants560K.html>.
4. *LeTourneau University* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.letu.edu/_Academics/Engineering/Faculty/YoniAdonyi.html.
5. *Шостаковский П.* Термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П. Шостаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – С. 131-138.
6. *Режим доступу* : <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/449420/Jean-Charles-Athanasie-Peltier>.
7. *Pike B.* Pike's Illustrated Descriptive Catalogue of Optical, Mathematical, and Philosophical Instruments. In II Volumes. Vol. II [Електронний ресурс]. – New York : Published by author at the his manufactory 294 Broadway, 1856. – 372 p. – Режим доступу : <http://www.scribd.com/doc/46292317/1856-Pike-s-Illustrated-Descriptive-Catalogue-of-Optical-Mathematical-Philosophical-Instruments-Volume-1>.
8. *Kuel Fang Hsu, Sim Loo, Fu Guo, Wel Chen, J. Dyck, C. Uher, T. Hogan, E. Polychroniadis, M. Kanatzidis.* Cubic AgPbmSbTe_{2+m} bulk thermoelectric materials with high figure of merit // Science. – 2004. – V. 203. – P. 818-820.
9. *Tang X. F., Chen L. D., Goto T., Dyck J. S., Chen W., Uher C., Hirai T., Yuan R. Z.* Synthesis and High Temperature Thermoelectric Properties on n-type BayNixCo_{4-x}Sb₁₂. // Proc. XX ICT-2001. – P. 97-100.
10. *Berardan D., Alleno E., Rouleau O., Godart C., Puyet M., Lenoir B., Scherrer H., Gerard L., Ravot D., Lackner R., Bauer E.* Improved Thermoelectric Properties in the Double Filled Skutterudites (Ce-Yb)y(Fe-Co-Ni)₄Sb₁₂ // Proc. 8 EWT. Krakow, 2004.
11. *Тушенцова Е. Н.* Термоэлектрический модуль (ТЭМ) [Электронный ресурс] / Е. Н. Тушенцова // Четвертая Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая весна 2011: Машиностроительные технологии» / МГТУ им. Н.Э Баумана. – Режим доступа : <http://studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=351>.
12. *Uher C.* Skutterudite Based Thermoelectrics. Handbook of Thermoelectrics, Edited by Rowe, CRC Press, 2006. – P. 34-1 – 34-17.
13. *Горський П. В.* Електропровідність контактуючих часток термоелектричного матеріалу / П. В. Горський, В. П. Михальченко // Термоелектрика. – 2013. – № 2.
14. *Сабо Е. П.* Технология халькогенных термоэлементов. Физические основы. Глава 3. Технология коммутации ветвей термоэлемента. 3.1. Коммутационные переходы / Е. П. Сабо. – Грузия, 2010.
15. *Термоелектричні модулі для генераторів на газовому органічному паливі* / Л. І. Анатичук, Є. І. Антонюк, В. Я. Михайловський, О. Я. Лусте, Л. М. Вихор, І. С. Термена // Термоелектрика. – 2006. – № 4.
16. *Охотин А. С.* Термоэлектрические генераторы / А. С. Охотин, А. А. Ефремов, В. С. Охотин. – М. : Атомиздат, 1971. – 288 с.
17. *Kaible H. T., Rauscher L., Fujimoto S., Kurosawa T., Kauda T.* Development of thermoelectric generating cascade modules using silicide and Bi-Te // Proc. 23 rd International Conference on Thermoelectrics. – Australia. – 2004. – P. 13.
18. *Малыгин Е. А.* Исследования термоэлектрических батарей, скоммутированных на основе вакуумных конденсаторов кобальта / Е. А. Малыгин, М. П. Козорезов, А. М. Черников // Гелиотехника. – 1973. – № 3. – С. 27-31.
19. *Термоэлектрические батареи на основе сплавов Bi₂Te₃ с рабочей температурой до 300 °С.* Термоэлектрики и их применение / А. А. Пустовалов, В. В. Гусев, Л. П. Небера, М. И. Панкин, Н. Н. Рыбкин // Доклады VIII Международного семинара. – СПб., 2002. – С. 357-362.
20. *Способ изготовления термоэлектрических модулей. H01L21/50, H01L35/34 (РФ)* / Ю. П. Прилепо, А. А. Кичкайло. – Заявл. 11.07.2001, опубл. 20.12.2002.
21. *Алтырцев Г. А.* Коммутация термоэлементов на основе Pb-Te и Bi₂Te₃-Sb₂Te₃ / Г. А. Алтырцев, Ю. Н. Малевский // Теплоэнергетика. – 1961. – Вып. 3. – С. 61-67.
22. *Сабо Е. П.* Технология халькогенных термоэлементов. Физические основы. Глава 3. Технология коммутации ветвей термоэлемента. 3.3. Контактная электросварка / Е. П. Сабо. – Грузия, 2010.
23. *Способ коммутации термоэлементов* : а.с. №1642911 (СССР) / В.Г. Швецов (СССР). – Заявл. 25.03.87, опубл. 30.03.89.

УДК 621.793.3

С.В. Олексієнко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

В.О. Мартиненко, канд. техн. наук

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна

Р.А. Куликовський, канд. техн. наук

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОПЕРЕНОСУ НА ДИФУЗІЙНУ КІНЕТИКУ В СИСТЕМІ Al-Si-Al**С.В. Олексієнко**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

В.А. Мартыненко, канд. техн. наук

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина

Р.А. Куликовский, канд. техн. наук

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПЕРЕНОСА НА ДИФУЗИОННУЮ КИНЕТИКУ
В СИСТЕМЕ Al-Si-Al****Serhii Oleksiienko**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Volodymyr Martynenko, PhD in Technical Sciences

The Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Ruslan Kulykovskiy, PhD in Technical Sciences

Zaporizhia National Technical University, Zaporizhia, Ukraine

**INFLUENCE OF ELECTROMIGRATION ON DIFFUSION KINETICS
IN THE SYSTEM Al-Si-Al**

Представлена робота присвячена вивченню контактного плавлення в системі алюміній-кремній-алюміній. Досліджується вплив електричного струму на кінетику контактного плавлення. Встановлено вплив тривалості та напрямку протікання постійного електричного струму на розподіл елементів у з'єднанні.

Ключові слова: алюміній, кремній, контактне плавлення, електроперенос, розподілення елементів.

Представленная работа посвящена изучению контактного плавления в системе алюминий-кремний-алюминий. Исследуется влияние электрического тока на кинетику контактного плавления. Установлено влияние продолжительности и направления протекания постоянного электрического тока на распределение элементов в соединении.

Ключевые слова: алюминий, кремний, контактное плавление, электроперенос, распределение элементов.

Presented work is dedicated to examination of contact fusion in the system aluminium-silicon-aluminium. The influence of electric current on contact fusion kinetics is investigated. The influence of continuance and electric current direction on distribution of elements in joining is determined.

Key words: aluminium, silicon, contact fusion, electromigration, distribution of elements.

Постановка проблеми. Контактно-реактивне паяння є одним із різновидів капілярного паяння, при якому рідка фаза (припій) утворюється і розтікається між поверхнями, що паяються, у процесі так званого контактного плавлення при температурі, яка нижче температури плавлення матеріалів, що з'єднуються.

Контактно-реактивне паяння можливе між металами та сплавами, які утворюють між собою безперервний ряд твердих розчинів, температура плавлення яких безперервно знижується в порівнянні з температурою плавлення компонентів, або достатньо легкоплавку евтектику [1].

Останніми роками контактнo-реактивне паяння, завдяки його особливостям, що дозволяють вести процес без використання сольових флюсів з доволі точним дозуванням кількості рідкої фази, стало одним із найбільш перспективних і прогресивних процесів. У цьому випадку нероз'ємні з'єднання забезпечують суттєве підвищення їх міцності, пластичності та корозійної стійкості. Велике значення надається контактнo-реактивнo-му паянню магнієвих, титанових і, зокрема, алюмінієвих сплавів.

У процесі оцінювання придатності матеріалу для контактнo-реактивного плавлення й утворення евтектики дуже важливе значення мають вміст його в евтектиці, гранична

розчинність при заданій температурі в евтектиці, а також пружність випаровування компонентів у вакуумі. При утворенні евтектик, багатих на метал, що з'єднується, активація поверхні може відбуватися і без суттєвого перегріву над евтектичною температурою. Зі збільшенням вмісту в евтектиці алюмінію підвищується її температура плавлення, що також активізує процес контактнореактивного плавлення [2]. На рис. 1 представлені дані про вміст алюмінію з деякими металами. Найбільш багаті алюмінієм евтектики з кремнієм та нікелем.

Однак через досить високу температуру плавлення евтектики Al-Ni (913 K) від місць контакту розвивається не тільки загальна, але і локальна ерозія по границях зерен основного металу, яка важко піддається регулюванню. Разом з цим через труднощі з підтриманням постійності температури при такій надто високій температурі можливе оплавлення алюмінієвої деталі.

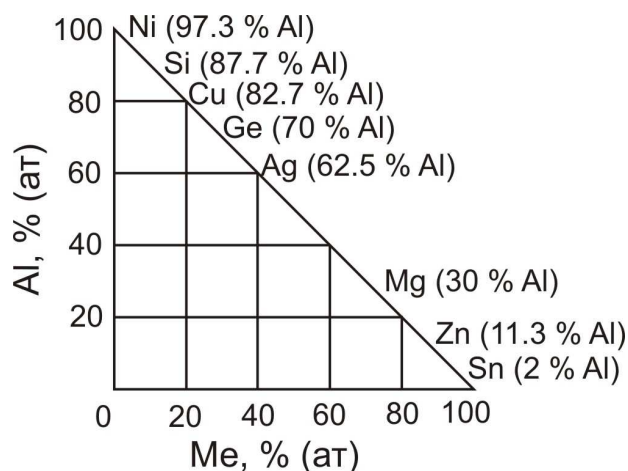


Рис. 1. Вміст алюмінію в евтектиках з деякими металами [2]

З цієї причини та з урахуванням усіх перерахованих вимог, найбільш придатним для отримання евтектичного прошарку на поверхні алюмінієвої деталі є кремній. Евтектика алюмінію з кремнієм містить 87,7 % (ат.) алюмінію і має температуру плавлення 850 K.

Під час контакту з кремнієм процес активування може сповільнюватися через високу стійкість плівки його оксиду. Внаслідок слабкої здатності кремнію випаровуватись у вакуумі $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па при температурах плавлення евтектики для контакту кремнію з алюмінієм через розриви у плівці Al_2O_3 необхідне щільне притискання [2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Використання високих зусиль осадки вимагає проведення процесу контактнореактивного паяння із застосуванням формуючих пристроїв, які дозволятимуть обмежувати пластичну деформацію алюмінієвих деталей. Очевидно, що у випадку виготовлення складних за конфігурацією виробів таке застосування формуючих пристроїв буде ускладненим чи взагалі неможливим.

Зменшення величини стискаючого зусилля до значення 0,1 МПа при контактнореактивному паянні сплаву АМц з нанесеним на його поверхню кремнієм термовакуумним напиленням чи через порошок кремнію у вакуумі $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па, за даними роботи [1], дозволяє досягти лише локального плавлення сплаву АМц у контакті з частками кремнію. За даними роботи [2], розвиток хімічної ерозії сплаву АМц на глибину 35 мкм при контактуванні з кремнієм у вакуумі $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па відбувся лише через 740 с.

Таким чином, для якісної реалізації контактнореактивного паяння необхідно розробити засоби інтенсифікації процесу, які б дозволили забезпечити прискорення процесу контактного плавлення без використання надмірних стискаючих зусиль.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [2] процес контактнореактивного плавлення розглядається як такий, що складається з двох стадій:

1) утворення на поверхнях контактуючих кристалічних тіл твердих розчинів та їх плавлення;

2) розчинення твердих контактуючих тіл у рідині, яка утворилась, склад якої близький до евтектичного.

У наступних роботах більшості авторів така модель процесу була покладена в основу розрахунків, які зводились до визначення швидкості дифузії спочатку в твердій, а потім у рідкій фазах, у стаціонарних, а потім у нестаціонарних умовах.

Оскільки дифузію в твердому стані можна розглядати як підготовчу стадію утворення на поверхнях контактуючих тіл твердих розчинів чи прошарків хімічних з'єднань, то первинною задачею, з огляду на тривалий час утворення евтектики в зоні контакту кремнію з алюмінієм, є її прискорення.

Проведений огляд технічної літератури та публікацій дозволив встановити, що у процесі зварювання в твердій фазі різнорідних пар металів прискорення дифузійних процесів досягається за рахунок пропускання через з'єднання постійного електричного струму [3; 4; 5]. У роботах вказується на те, що позитивний потенціал прикладають до металу, який має менший атомний радіус, а також на те, що під дією електричного струму відбувається електродифузія атомів металу з більшим атомним радіусом.

Мета статті. Дослідження впливу постійного електричного струму на процес контактного плавлення в системі алюміній-кремній-алюміній.

Виклад основного матеріалу. Досліди проводили на зразках з алюмінію марки АД00 розмірами $8 \times 8 \times 10$ мм, товщина кремнієвих пластин марки КЭФ-4,5/0,1 (напівпровідник *n*-типу) становила 0,15 мм. Підготовка поверхні алюмінієвих зразків, які підлягали з'єднанню, полягала у знятті шабером приповерхневого шару товщиною $\sim 0,2 \div 0,3$ мм і в наступному знежирюванні ацетоном. Поверхня кремнієвих пластин перед використанням піддавалась тільки знежирюванню. Дослідження проводились у вакуумній камері модернізованої установки УВН-2М-1 при глибині розрідження $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па, температурі 853 К та питомому тиску 0,1 МПа. Навантаження на зразки створювалось за допомогою механічного приводу типу гвинт-гайка через пружину, що дозволило зафіксувати момент утворення рідкого прошарку за показаннями індикатора годинникового типу.

Робота виходу алюмінію $\chi_{Al} = 4,25$ eВ, робота виходу кремнію $\chi_{Si} = 4,8$ eВ [6], тому під час контактування металу з напівпровідником *n*-типу електрони з металу переходять у напівпровідник і утворюють в контактному шарі напівпровідника від'ємний заряд. Таким чином, бар'єрний шар не утворюється – контактний шар напівпровідника володіє підвищеною провідністю в обох напрямках [7].

За даними роботи [8], при порівняно малих густинах струму $j \approx 0,1$ А/мм² електроперенос через рідкий прошарок співрозмірний з дифузією при контактному плавленні. Тому в процесі досліджень використовувалась густина струму $j \approx 0,2$ А/мм².

Мікрошліфи з'єднань для металографічних досліджень виготовляли за стандартною методикою з використанням алмазних паст. Травлення зразків здійснювали в суміші плавикової та азотної кислот (2:1 об'ємних часток). Мікроструктуру з'єднань та хімічний склад ділянок з'єднань досліджували за допомогою растрового електронного мікроскопа РЭММА-102-02.

На підставі проведення досліду, схема якого наведена на рис. 2, а, коли до нижньої алюмінієвої деталі підключали «–», а до верхньої «+», встановлено, що контактне плавлення відбулось через 90 с, а нижній зразок був підплавлений більше (рис. 2, б).

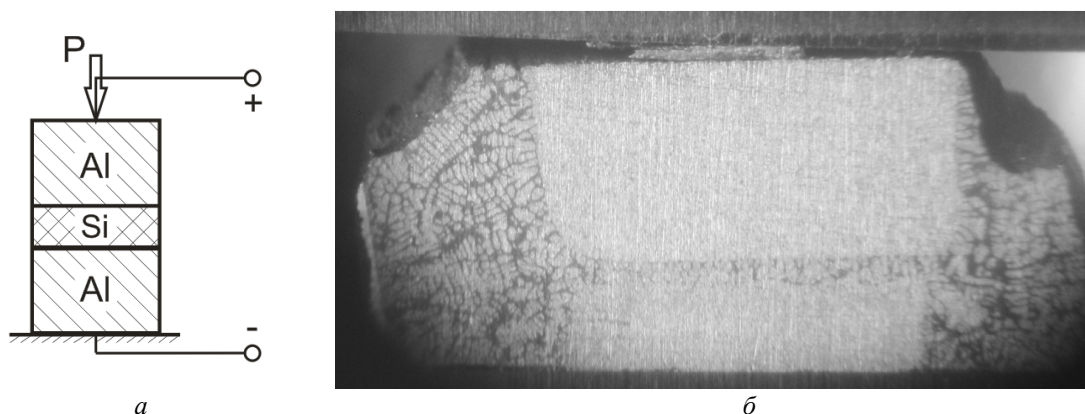


Рис. 2. Контактно-реактивне плавлення: а – схема досліджу; б – зовнішній вигляд шліфа з'єднання

Дійсно, в нашому випадку кремній, атомний радіус якого рівний $0,134 \text{ нм}$ і менший за атомний радіус алюмінію ($0,143 \text{ нм}$) [6], щодо нижньої алюмінієвої деталі знаходився під позитивним потенціалом, що і пояснює більшу швидкість контактного плавлення.

На рис. 3 представлений результат растрової електронної мікроскопії зони з'єднання. Характер розподілення елементів, зокрема кремнію, в закристалізованому евтектичному прошарку залежно від часу витримки при дії постійного електричного струму наведений на рис. 4. Напрямок досліджень зліва направо (рис. 3) відповідає напрямку зверху вниз, як показано на рис. 2, а.

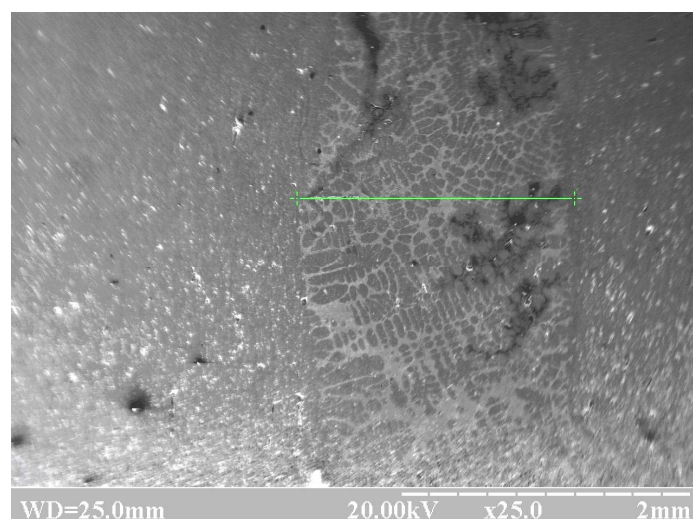


Рис. 3. Растрова електронна мікроскопія зони з'єднання

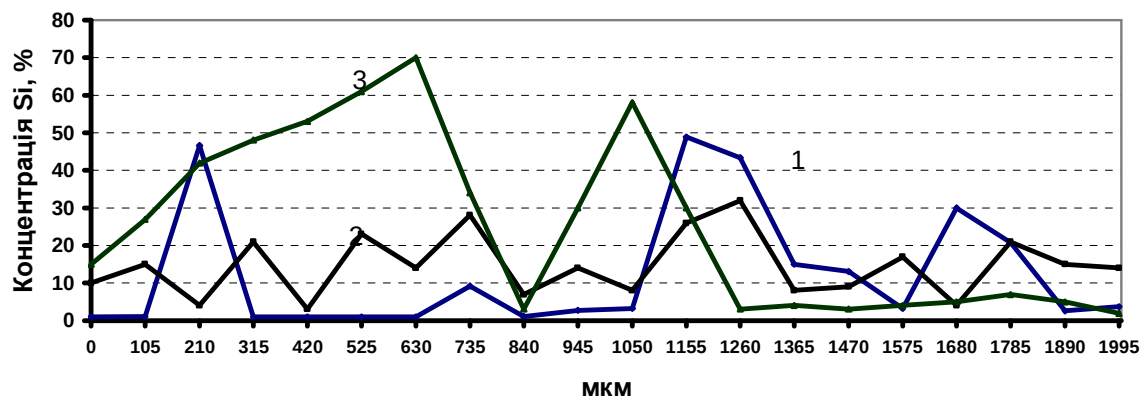


Рис. 4. Розподілення кремнію по евтектичному прошарку: 1 – 90 с; 2 – 1800 с; 3 – 3600 с

Такий характер розподілення ми пояснюємо тим, що кремній володіє більшою електронегативністю, ніж алюміній (1,8 у кремнію проти 1,5 у алюмінію) [6]. Таким чином, іони кремнію з більшою густиною від'ємного заряду в рідкому прошарку рухаються до позитивного потенціалу.

Висновки і пропозиції.

1. Визначено можливість прискорення процесу контактного плавлення в системі Al-Si-Al за рахунок дії постійного електричного струму, що проходить через з'єднання. При густині струму $0,2 \text{ А/мм}^2$, глибині розрідження $1,33 \cdot 10^{-2} \text{ Па}$, температурі 853 К та питомому тиску $0,1 \text{ МПа}$ час утворення евтектики становить 90 с , що приблизно у 8 разів швидше, ніж без дії постійного електричного струму.

2. Відомо, що працездатність зварного з'єднання, в якому є ділянки з різними властивостями металу, визначається не тільки абсолютними значеннями механічних характеристик металу зразків, вирізаних з різних ділянок, але і співвідношенням властивостей і розмірів цих ділянок. Тому у процесі виготовлення контактнореактивним паянням прецизійних виробів з алюмінію та його сплавів через неможливість регулювання у широких межах термодформаційного циклу оброблення з'єднань струмом, що проходить через них, може стати ефективним засобом забезпечення заданого рівня механічних характеристик виробу.

Список використаних джерел

1. Лашко Н. Ф. Контактнореактивная пайка / Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко // Сварочное производство. – 1969. – № 11. – С. 34-37.
2. Лашко Н. Ф. Контактные металлургические процессы при пайке / Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко. – М. : Металлургия, 1977. – 192 с.
3. А. с. 124781 СССР, МКИ³ 49 34. Способ соединения керамических и металлических деталей / Н. Ф. Казаков, Б. Н. Золотых (СССР) ; опубл. 1959, Бюл. № 23.
4. Пат. 3256598 США, МПК⁷ 29-484. Diffusions Bonding / I. R. Kramer, Ch. F. Burrows ; опубл. 21.06.66.
5. А. с. 332975 СССР, МКИ³ В23 К 21/00. Способ получения сварного соединения сваркой давлением в твердом состоянии / М. Л. Финкельштейн, Е. И. Феликсон, А. В. Андрюшкин и др. (СССР) ; опубл. 24.04.72, Бюл. № 11.
6. Физика твердого тела : энциклопедический словарь : [в 2 т.] / гл. ред. В. Г. Барьяхтар [и др.]. – К. : Наук. думка, 1996. – Т. 1. – 656 с.
7. Трофимова Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1990. – 478 с.
8. Влияние электропереноса на кинетику контактного плавления / И. В. Рогов, А. А. Ахкубеков, П. А. Савинцев, В. И. Рогов // Металлы. – 1983. – № 2. – С. 66-68.

УДК 621.791.019

В.О. Гаевский, аспирант**В.М. Прохоренко**, д-р техн. наук

НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина

РАСЧЁТ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ПОРИСТОСТИ ДЛЯ ЕДИНИЧНОГО УЧАСТКА СВАРНОГО ШВА

В.О. Гаєвський, аспірант**В.М. Прохоренко**, д-р техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

РОЗРАХУНОК ЙМОВІРНОСТІ ВИКОНАННЯ ВИМОГ ДО ПОРИСТОСТІ ДЛЯ ОДИНИЧНОЇ ДІЛЯНКИ ЗВАРНОГО ШВА

Vladimir Gayevskiy, PhD student**Vladimir Prokhorenko**, Doctor of Technical Sciences

NTUU «KPI», Kiev, Ukraine

CALCULATION OF PROBABILITY OF IMPLEMENTATION OF REQUIREMENTS TO POROSITY FOR THE SINGLE AREA OF THE WELD-FABRICATED GUY-SUTURES

Применение статистических методов при анализе данных о пористости сварных швов позволяет учитывать статистическую природу образования пор. Использование вероятности выполнения требований к пористости сварных швов в качестве критерия при оценке устойчивости сварочных материалов и процессов сварки к образованию пор, анализе данных о пористости в сварочном производстве способствует объективности полученных выводов. Представлена зависимость вероятности одновременного выполнения требований к пористости сварных швов от параметров статистического распределения диаметра пор, количества пор на единичном участке сварного шва и относительной суммарной площади пор. В основу зависимости положены статистические законы Пуассона и Вейбулла.

Ключевые слова: сварка, пористость, выполнение требований, показатели пористости.

Використання статистичних методів під час аналізу даних про пористість зварних швів дозволяє враховувати статистичну природу утворення пор. Застосування ймовірності виконання вимог до пористості зварних швів як критерію у процесі оцінювання стійкості зварювальних матеріалів і процесів зварювання до утворення пор, аналізування даних про пористість у зварювальному виробництві сприяє об'єктивності отриманих висновків. Представлено залежність ймовірності одночасного виконання вимог до пористості зварних швів від параметрів статистичного розподілу діаметру пор, кількості пор на одиничній ділянці зварного шва і відносної сумарної площі пор. В основу залежності покладені статистичні закони Пуассона і Вейбулла.

Ключові слова: зварювання, пористість, виконання вимог, показники пористості.

Application of statistical methods at the analysis of data about porosity of the weld-fabricated guy-sutures allows to take into account statistical nature of formation of pores. Use of probability of implementation of requirements to porosity of the weld-fabricated guy-sutures as a criterion at the estimation of stability of welding materials and processes of welding to education of pores, analysis of data about porosity in a welding production instrumental in objectivity of the got conclusions. Dependence of probability of simultaneous implementation of requirements is presented to porosity of the weld-fabricated guy-sutures from the parameters of the statistical distributing of diameter of pores, amount of pores on the single area of the weld-fabricated guy-sutures and relative total area of pores. The statistical laws of Puassona and Veybulla are fixed in basis of dependence.

Key words: welding, porosity, implementation of requirements, indexes of porosity.

Постановка проблемы. С одной стороны наблюдается явно выраженная изменчивость образования пор в сварных швах, проявляющаяся в том, что, несмотря на все усилия, направленные на предотвращение пор, они время от времени появляются, часто без видимых причин. С другой стороны, при оценке устойчивости процессов сварки к образованию пор, анализе данных о пористости в сварочном производстве используются детерминированные подходы и показатели, что снижает объективность и обоснованность формулируемых при этом выводов.

Анализ последних исследований и публикаций. Тенденцией последних лет является применение статистических методов при анализе данных о дефектах в сварочном производстве [1-7]. Путём статистической обработки большого количества данных, полученных при производстве и эксплуатации сварных изделий, определены статистические законы, адекватно описывающие изменчивость основных показателей пористости сварных швов [5-7]. При этом есть возможность рассчитывать вероятность выполнения требований к пористости сварных швов по каждому отдельному показателю.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Отсутствует математическая зависимость, позволяющая рассчитать вероятность одновременного выполнения требований по основным показателям пористости сварного шва.

Цель статьи. Целью статьи является выведение математической зависимости, которая позволяет рассчитывать вероятность выполнения требований к пористости сварных швов одновременно по диаметру пор, их количеству на единичном участке сварного шва и относительной суммарной площади пор.

Изложение основного материала. Нормативные требования к пористости сварных швов сводятся к ограничению максимального диаметра поры d_{USL} и максимальной относительной суммарной площади q_{USL} пор на единичном участке сварного шва.

Для некоторых изделий дополнительно ограничивают максимальное количество пор x_{USL} на единичном участке сварного шва.

Фактический диаметр d поры определяют прямым измерением на рентгенограмме или в изломе сварного шва.

Фактическое количество x пор на единичном участке сварного шва определяют прямым подсчётом количества пор на рентгенограмме или на поверхности излома в пределах единичного участка сварного шва, а относительную суммарную площадь $q_{пор}$ пор в исследуемой проекции единичного участка сварного шва рассчитывают из отношения

$$q_{пор} = \left(\frac{S_{пор}}{S_{пол}} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $S_{пор}$ – суммарная площадь пор в исследуемой проекции единичного участка сварного шва, мм²; $S_{пол}$ – площадь металла сварного шва в исследуемой проекции единичного участка сварного шва, мм².

Для каждого контролируемого единичного участка сварного шва определяют фактические значения перечисленных выше показателей пористости d , x , $q_{пор}$. При неизменных параметрах процесса сварки показатели пористости могут существенно отличаться даже для соседних единичных участков. Между тем, по результатам выборочных замеров показателей пористости на ограниченном количестве единичных участков сварного шва делают выводы о пористости сварного изделия в целом, пригодности процесса сварки и достаточности квалификации сварщика.

Для учёта фактической изменчивости показателей пористости следует применять статистические критерии оценки устойчивости сварных швов к образованию пор. В качестве такого критерия может быть принята вероятность выполнения требований к пористости сварного шва.

По данным исследований [5-7], изменчивость диаметра пор d подчиняется закону Вейбулла. Поскольку площадь поры является функцией её диаметра, то и суммарная площадь пор функционально определяется диаметром пор. Следовательно, и относительная суммарная площадь пор является функцией диаметра пор. Изменчивость относительной суммарной площади пор $q_{пор}$, так же как и диаметра d , подчиняется закону Вейбулла. Статистическое распределение количества пор, регистрируемых на единичном контролируемом участке сварного шва, описывается законом Пуассона [6].

При нормативно установленных предельно допустимых значениях максимального диаметра поры d_{USL} , максимального количества пор на единичном участке сварного шва x_{USL} и максимальной относительной суммарной площади пор q_{USL} , вероятность выполнения требований к пористости сварного шва $P_k^{пор}$ определяется по правилу умножения вероятностей. Вероятность одновременного выполнения требований к диаметру пор, к их количеству на единичном участке сварного шва и к относительной площади пор

$$P_{\kappa}^{nop} = P_{\kappa d} \cdot P_{\kappa \chi} \cdot P_{\kappa q}, \quad (2)$$

где $P_{\kappa d}$ – вероятность выполнения требования к диаметру пор на единичном участке сварного шва; $P_{\kappa \chi}$ – вероятность выполнения требований к количеству пор на единичном участке сварного шва; $P_{\kappa q}$ – вероятность выполнения требований к относительной суммарной площади пор на единичном участке сварного шва.

Вероятность того, что диаметр поры не превышает заданное предельно допустимое значение d_{USL} , может быть рассчитана как вероятность выполнения требований к диаметру пор на единичном участке сварного шва

$$P_{\kappa d} = 1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{\left[-\left(\frac{d_{USL}}{a_d}\right)^{b_d}\right]}, \quad (3)$$

где μ – среднее количество пор, регистрируемое на единичном участке сварного шва; a_d – параметр размера Вейбулловского распределения диаметра пор; b_d – параметр формы Вейбулловского распределения диаметра пор.

Параметр размера a_d Вейбулловского распределения определяет ширину диапазона возможных значений диаметра пор. Чем больше значение параметра размера a_d , тем шире этот диапазон, при этом 63,2 % всех пор сварного шва имеют диаметр, не превышающий значение a_d параметра масштаба распределения Вейбулла.

Параметр формы b_d определяет значения угла наклона кривой плотности вероятности распределения Вейбулла. С увеличением значения параметра формы b_d увеличивается угол наклона кривой.

Фактические значения параметров a_d и b_d могут быть рассчитаны по данным экспериментального исследования пористости сварных швов.

Вероятность выполнения требований к количеству пор на единичном участке сварного шва χ_{USL} рассчитывается по распределению Пуассона [6]

$$P_{\kappa \chi} = G(\chi_{USL}, \mu) = \sum_{i=0}^{\chi_{USL}} \left(\frac{\mu^i}{i!} e^{-\mu} \right), \quad (4)$$

где $G(\chi_{USL}, \mu)$ – функция распределения Пуассона для количества пор на единичном участке сварного шва; μ – среднее количество пор на единичном участке сварного шва.

Вероятность выполнения требований к относительной суммарной площади пор на единичном участке сварного шва q_{USL} рассчитывается

$$P_{\kappa q} = 1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{\left[-\left(\frac{q_{USL}}{a_q}\right)^{b_q}\right]}, \quad (5)$$

где a_q – параметр размера Вейбулловского распределения относительной суммарной площади пор; b_q – параметр формы Вейбулловского распределения относительной суммарной площади пор.

Подстановкой в формулу (2) соответствующих зависимостей (3)-(5) получаем формулу для расчёта вероятности выполнения требований к пористости сварного шва

$$P_{\kappa}^{nop} = \left\{ 1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{\left[-\left(\frac{d_{USL}}{a_d}\right)^{b_d}\right]} \right\} \cdot \left\{ \sum_{i=0}^{\chi_{USL}} \left(\frac{\mu^i}{i!} e^{-\mu} \right) \right\} \cdot \left\{ 1 - \left(1 - e^{-\mu}\right) \cdot e^{\left[-\left(\frac{q_{USL}}{a_q}\right)^{b_q}\right]} \right\}.$$

Вероятность выполнения требований к пористости сварных швов определяется двумя составляющими. *Первая* составляющая – предельно допустимые значения диаметра d_{USL} , количества пор на единичном участке сварного шва χ_{USL} , относительной

суммарной площади пор на единичном участке сварного шва q_{USL} . Предельно допустимые значения этих показателей устанавливаются нормативными требованиями к сварным швам. Чем больше предельно допустимые значения, тем выше вероятность выполнения требований к пористости сварных швов. *Вторая* составляющая – устойчивость процесса сварки к образованию пор. Фактически устойчивость процесса сварки к образованию пор обеспечивается технологическими мероприятиями, предотвращающими образование пор. Эти мероприятия определяют: диаметры образующихся пор, а значит и параметры размера a_d и формы b_d Вейбулловского распределения диаметра пор; количество пор на единичном участке сварного шва, а значит и среднее количество пор на единичном участке сварного шва μ ; параметры размера a_q и формы b_q Вейбулловского распределения относительной суммарной площади пор.

В случае отсутствия нормативных требований по какому-либо из показателей пористости d , x или q , в расчётах вероятность выполнения требований по этому показателю следует принимать равной единице.

Для проверки адекватности теоретически полученной зависимости вероятности выполнения требований к пористости рассмотрим граничные условия по параметрам распределения Пуассона.

Первая граничная ситуация. Значение среднего количества пор на единичном участке сварного шва равно нулю. Такая ситуация возможна только в случае полного отсутствия пор на единичном участке сварного шва. Подстановка $\mu = 0$ и расчёт по полученной нами зависимости показывает, что все три составляющие, а именно, вероятность выполнения требований к диаметру пор, к количеству пор на единичном участке сварного шва и к относительной суммарной площади пор становятся равными единице. Следовательно, вероятность выполнения требований к пористости сварных швов на единичном участке в целом равна единице. Такой результат расчётов по представленной зависимости полностью логичен, действительно, если поры на единичных участках сварных швов отсутствуют, то все сварные швы соответствуют требованиям к пористости.

Вторая граничная ситуация. Значение среднего количества пор на единичном участке сварного шва стремится к бесконечности, то есть наблюдается неограниченно большое количество пор на единичном участке сварного шва, а металл сварного шва имеет пемзовидное строение. Подстановка $\mu \rightarrow \infty$ и расчёт по полученной нами зависимости показывает, что независимо от того, какие значения принимает диаметр пор и относительная суммарная площадь пор, значение второго множителя, связанного с количеством пор на единичном участке сварного шва становится равным нулю и вероятность выполнения требований к пористости сварных швов на единичном участке в целом становится равной нулю. Такой результат расчётов также логичен, пемзовидный сварной шов не может удовлетворять требованиям к пористости.

Таким образом, подстановка данных, соответствующих граничным условиям, в полученную нами зависимость приводит к непротиворечивым и логичным результатам расчётов, что свидетельствует в пользу адекватности представленной расчётной зависимости.

Полученная зависимость позволяет комплексно оценивать способность процесса сварки выполнять требования к пористости сварных швов по диаметру пор, их количеству на единичном участке сварного шва и относительной суммарной площади пор. Такая комплексная оценка необходима при испытаниях на свариваемость по показателю устойчивости к образованию пор, аттестации процесса сварки, аттестации сварщиков, определении пригодности разработанной или изменённой технологии сварки на этапе подготовки производства, анализе данных о качестве продукции в ходе производства сварных изделий. Расчётная вероятность выполнения требований к пористости сварных

швов может быть использована как критерий устойчивости процесса сварки к образованию пор и как показатель для статистического контроля процесса сварки по пористости сварных швов.

Выводы и предложения.

1. Получена зависимость для расчёта вероятности комплексного выполнения нормативных требований к пористости сварных швов по показателям диаметра, относительной суммарной площади пор и количества пор на единичном участке сварного шва. Для расчёта вероятности выполнения требований к пористости сварных швов необходимо знать предельно допустимые значения диаметра пор, количества пор на единичном участке сварного шва, относительной суммарной площади пор, а также значения параметров статистического распределения показателей пористости сварного шва.

2. Полученная зависимость может быть использована при разработке сварочных материалов для оценки устойчивости к образованию пор, при аттестации процессов сварки по устойчивости к образованию пор, при анализе данных о пористости сварных швов в сварочном производстве. Расчётное значение вероятности выполнения требований к пористости для единичного участка сварного шва может быть использовано как критерий устойчивости к образованию пор.

Список использованных источников

1. *Тараричкін І. О.* Статистичні методи забезпечення якості продукції зварювального виробництва : монографія / І. О. Тараричкін. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. – 336 с.
2. *Деев Г. Ф.* Дефекты сварных швов / Г. Ф. Деев, И. Р. Пацкевич. – К. : Наук. думка, 1984. – 208 с.
3. *Прохоренко В. М.* Научно-техническая проблема автоматизированного контроля качества сварных соединений / В. М. Прохоренко, И. М. Чертов, В. О. Гаевский // Вісник Донбаської держ. машинобуд. академії. – 2012. – № 3. – С. 236-240.
4. *Чертко Е. П.* Прогнозирование качества сварных соединений при контактной стыковой сварке оплавлением по статистическим характеристикам / Е. П. Чертко, Н. В. Шевченко, А. Е. Пирумов // Вісник Донбаської держ. машинобуд. академії. – 2012. – № 3. – С. 274-279.
5. *Вероятностный* риск-анализ конструкций технических систем / А. М. Лепихин, Н. А. Махутов, В. В. Москвичев, А. П. Черняев. – Новосибирск : Наука, 2003. – 174 с.
6. *Волченко В. Н.* Статистические методы управления качеством по результатам неразрушающего контроля / В. Н. Волченко. – М. : Машиностроение, 1976. – 64 с.
7. *Бурнашев А. В.* Эксплуатационная надежность конструкций севера [Электронный ресурс] / А. В. Бурнашев, А. М. Большаков. – Режим доступа : <http://rudocs.exdat.com/docs/index-370719.html>.

РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.052:004.275

В.В. Литвинов, д-р техн. наук

О.П. Мойсеенко, ассистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

SVM ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ МУЛЬТИЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ

В.В. Литвинов, д-р техн. наук

О.П. Мойсеенко, асистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

SVM ПРИ КЛАСИФІКАЦІЇ РІЗНОМОВНИХ ТЕКСТІВ

Vitaliy Litvinov, Doctor of Technical Sciences

Oleg Moyseyenko, assistant

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

SVM IN THE CLASSIFICATION OF MULTILINGUAL TEXTS

Описывается возможность модернизации базового алгоритма опорных векторов для решения задачи классификации коллекций разноязычных текстовых документов.

Ключевые слова: SVM, классификация, обработка текстовых документов.

Описано можливість модернізації базового алгоритму опорних векторів для вирішення задачі класифікації колекцій різномовних текстових документів.

Ключові слова: SVM, класифікація, оброблення текстових документів.

Describes the ability to upgrade the basic algorithm of support vectors to solve the problem of classification of collections of multilingual text documents.

Key words: SVM, classification, word processing documents.

Введение. Метод опорных векторов SVM (Supporting Vector Machines) [1] относится к числу современных и успешных методов решения задач:

- классификации – отнесение к классам с заданными свойствами/параметрами;
- рубрицирования – сопоставление с иерархической системой классов;
- кластеризации – создание подмножеств близких тематически данных.

В настоящее время одной из проблем, возникающих при решении упомянутых задач с помощью SVM, является необходимость адаптации метода под конкретные цели, в нашем случае для автоматизации аналитической обработки динамичных коллекций разнородных, мультязычных, естественно-языковых текстовых документов. Возникает необходимость изменения стандартного набора внутренних параметров алгоритма, т. е. таких параметров, которые задает сам пользователь и не изменяемых при обучении [1]. А также разработка новых программных механизмов и подходов для модернизации метода с целью достижения необходимых, высоких результатов в этой области.

Анализ. Используя SVM для работы с текстовыми данными, задачи которые он поставлен решать, обретают следующий вид:

1. Классификация мультязычных документов возможна по следующим признакам:

- по наименованию;
- по языку документа;
- по наличию разноязычных включений (они могут передавать смысл содержимого более полно);
- по степени гласности (открытые и документы с ограниченным доступом);
- по юридической силе (подлинные и подложные);
- по срокам исполнения (срочные и несрочные);

- по происхождению (служебные и личные);
- по срокам хранения (временного и постоянного срока хранения);
- по степени обязательности (информационные и директивные – обязательные для исполнения).

2. Рубрикация – следующая ступень для выделения тематической составной документа (семантики). Для этого, нужно поделить текст на составные части с использованием заголовков и нумерации. Система рубрик включает заголовки частей, разделов, глав и параграфов, которые тоже нумеруются и в свою очередь подразделяются на абзацы. Под абзацем понимается отступ вправо в начале первой строки определенной части текста, а также та часть текста, которая находится между двумя такими отступами. В абзац объединяют предложения, связанные между собой по смыслу. Абзацы одного параграфа или главы также должны быть по смыслу связаны между собой и расположены в логической последовательности.

3. Кластеризация – выделение групп документов, имеющих схожую смысловую нагрузку (тематические группы).

Постановка задачи. Необходимость модернизации вызвана отсутствием готовых решений для задачи кластеризации динамичных коллекций мультязычных текстовых документов, содержащими не только текстовые корпуса на различных языках, но и допускающими включения иностранных слов, что по сути является шумами, к которым обучаемые методы классификации, а SVM, в их числе, плохо устойчивы.

Решение. В данной статье описываются изменения в работе базового SVM метода для достижения поставленной задачи. В качестве стартовой комплектации был выбран некоммерческий проект с открытым программным кодом, созданный для научных исследований и экспериментов в работе метода опорных векторов. Именно в библиотеке SVMLight [2] алгоритм был наиболее полно и удачно реализован. Библиотека представлена на разных программных языках.

До сих пор не существует разработанных методов построения спрямляющих пространств или ядер, наиболее подходящих для конкретной задачи, так как само построение адекватного ядра является весьма сложной задачей [1].

Цель данной работы заключается в разработке комплекса методов, которые дополнят базовый алгоритм минимизацией реакции на шумы от разноязычных включений, дадут возможность, автоматически подбирать значения параметров границ решений, делая их более «плавным» для предотвращения образования дублирующих документов в разных классах или исключения целых классов документов, не подошедшим к поставленным критериям.

Так как метод направлен на работу с динамическими коллекциями, где количество классов, к которым может относиться тот или иной документ, величина не постоянная, то необходимая мультиклассовость достигается при решении очередности бинарных задач. Сначала один класс отделяется от остальных, потом второй, третий и т. д. После чего получим несколько SVM для каждого из классов. При появлении класса нового объекта (документа), эти SVM возвратят коэффициенты принадлежности, и класс такого объекта будет определен по максимальному значению этого коэффициента. В случае не определения принадлежности к уже существующим, а значит не возможности вхождения, класс сможет продолжить существовать самостоятельно.

В качестве объектов аналитического анализа будем использовать сжатое представление текста в виде вектора термов (признаков). Размерность пространства при построении вектора признаков равна числу различных термов, содержащихся в обучающей коллекции. Многие алгоритмы классификации очень чувствительны к времени вычисления, которое часто является функцией от длины вектора, представляющего документ, поэтому необходимо стараться уменьшить размерность пространства признаков.

Представить документ в виде вектора несложно. Сначала нужно сделать словарь коллекции – это список всех ключевых слов, которые в этой коллекции встречаются. Количество слов и есть размерностью векторов. После этого документ представляется в виде вектора, где i -тый элемент – это мера вхождения i -того слова словаря в документ. Это может быть +1 или -1 в зависимости от того, входит ли слово в документ или нет, или количество вхождений. Или «доля» этого слова в документе. Вариантов много. В итоге получаются вектора большой размерности, где большая часть элементов – нули (рис.).

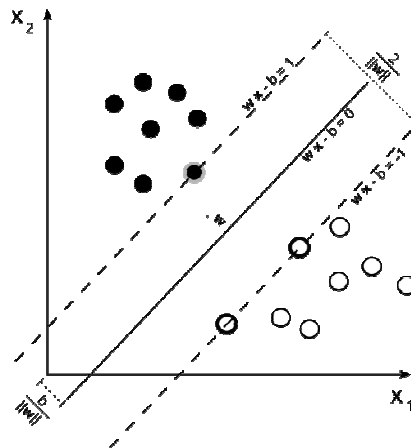


Рис. Два класса документов, которые представляется как точки (нулевой вектор)

Разумеется, классов будет значительно больше, и нам понадобится запускать алгоритм n раз. Точнее, у нас будет n классификаторов для каждой категории, умеющих определять попадает ли документ в эту категорию или нет.

Наиболее исследованным и распространенным решением при определении величин входящих в вектор термов является подход, основанный на предположении, что документы, принадлежащие одной рубрике, имеют близкие распределения относительных частот слов, входящих в текст.

Таким образом, при определении вектора термов для документа (размерность которого равна числу различных термов из всего массива) каждому слову из лексики коллекции ставится в соответствие координата в пространстве признаков. Она пропорциональна частоте слова в данном документе. Для определения этих координат, в случае весового представления текста, часто используют стандартную TfIDF функцию, которая определяется как [3]:

$$tfidf(t_i, d_j) = tf(t_i, d_j) \cdot idf(t_i), \quad (1)$$

где tf – частота терма t_i в документе d_j , idf – инверсная частота терма:

$$idf(t_i) = \log \frac{|D|}{df_i}. \quad (2)$$

В этой формуле $|D|$ – количество всех документов в коллекции, df_i – количество документов, содержащих терм t_i .

Кроме этого, каждый из документов коллекции, несомненно, обладает различной длиной, что вызывает необходимость нормализации частот полученных по первой формуле

$$w_{ij} = \frac{tfidf(t_i, d_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{|T|} (tfidf(t_i, d_j))^2}}, \quad (3)$$

где вес i -го терма в j -том документе w_{ij} рассчитывается, исходя из того, чтобы сумма квадратов весов каждого документа была равна 1.

Для тестирования классификатора можно использовать часть той же самой коллекции (только тогда не стоит использовать эту часть при обучении).

Для оценки работы классификаторов используются несколько метрик:

Accuracy = $((r - kr) + kw)/n$ Фактически – это точность.

Precision = kr/n

Recall = kr/r

Здесь kw – количество документов, которые классификатор неправильно отметил как не относящиеся к искомой категории;

kr – количество документов, которые классификаторов правильно отметил как относящиеся к искомой категории;

r – общее количество документов, относящихся к искомой категории, по мнению классификатора;

n – общее количество документов, относящихся к искомой категории.

Из этих метрик Precision и Recall являются самыми важными, так как они показывают насколько вообще наш классификатор точно или беспорядочно работает. Чем ближе обе метрике к единице — тем лучше.

Для «сглаживания» границ разделяющей плоскости вблизи их будем находить ближайшего соседа каждой точки. Расстояние между векторами измеряется по примеру евклидова расстояния:

$$D(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{p=1}^n (x_i^p - x_j^p)^2}. \quad (4)$$

Расстояние точки к себе равно ∞ . Сравнив расстояния и выбрав самый близкий нулевой вектор, делаем сравнение знаков векторов. В случае если они разные, то есть относятся к разным классам, такого соседа необходимо удалить. При больших объемах выборки, такие действия существенно не скажутся на результатах, при этом сильно помогут разграничить существующие классы документов, делая границы разделяющей плоскости более плавными. По знаку класса каждой выборки и его ближайшего соседа определяются новые границы решения.

Для уменьшения влияния разноязыковых шумов на качество классификации динамичных коллекций мультязычных документов, возникает необходимость в разработке новых ядер, математических функций, для изменения положения в пространстве разделяемых признаков. Готовых решений в этой области автором обнаружено не было. На данный момент классификация документов происходит по отдельности для каждой языковой группы, что непременно ведет к появлению тематических дублей в каждом из классов документов. Причина в том, что для задач текстовой классификации широко используются стандартные наборы функций ядер, например, гауссовское ядро, которые не учитывают особенностей текстовых данных. Тем не менее, современные, глобальные поисковые системы, для решения задач классификации веб-страниц, начали использовать модификацию существующей ядерной функции SSK (String Subsequence Kernel), или же строкового ядра, которая до этого применялась только в задачах классификации протеинов. Это дает возможность говорить о том, что необходимость разработки новых ядер для поставленной задачи можно обойти путем модификации существующих ядер, того же SSK, только не для веб контента, а для не структурированных локальных текстовых документов, которые преобладают большим объемом данных и широкой тематической насыщенностью.

Для классификации пары мультязычных текстовых документов можно представить их в виде последовательности символов, не учитывая языковые признаки. В таком случае

пространство признаков документа будет состоять из множества всех подстрок. Выбрав ключевые подстроки и пропустив их набор для каждого из двух сравниваемых документов, через блок перевода, сводимый к одному языку, например, русскому, и сравнив количество подстрок с общим переводом. Если их количество больше или равно значению некой весовой функции, то можно говорить о тематической схожести данных документов.

Выводы. Для подтверждения эффективности представленных способов модификации базового алгоритма опорных векторов в составе свободной библиотеке SVMLight, для решения поставленных задач, необходима окончательная программная реализация с последующим проведением цикла опытов на локальных коллекциях документов Reuters. Система классификации, рубрицирования и кластеризации динамических коллекций мультязычных текстовых документов находится в стадии разработки.

Список использованных источников

1. Vapnik V. Statistical learning theory. Wiley, New York, 1998 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://books.google.com.ua>.
2. SVM-Light Support Vector Machine [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.svm-light.joachims.org>.
3. Sebastiani F. Machine Learning in Automated Text Categorization [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://books.google.com.ua>.
4. Reuters-21578, DataSet (коллекция документов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.daviddlewis.com/resources/testcollections/reuters21578>.
5. Пескишева Т. А. Современные системы и модули автоматической рубрикации текстовых документов [Электронный ресурс] / Т. А. Пескишева. – Режим доступа : <http://www.vggu.ru>.

УДК 621.317.3

А.И. Вервейко, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВИРТУАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ФУНКЦИИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ

О.І. Вервейко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИРТУАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЧ ФУНКЦІЇ КОРОТКОЧАСНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ЧАСТОТИ

Aleksandr Verveyko, PhD in Technical Sciences

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

VIRTUAL METER OF THE FUNCTION OF SHORT-TERM INSTABILITY FREQUENCY

Получил дальнейшее развитие метод измерения функции кратковременной неустойчивости частоты на базе преобразования период-временной интервал-код. Разработаны четыре варианта его реализации, получены аналитические соотношения для основных метрологических характеристик вариантов и проведен их сравнительный анализ. Реализованы автономный и виртуальный измерители, а также проведены экспериментальные исследования стандартных генераторов. Указаны особенности измерителей и пути их дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: кратковременная неустойчивость частоты, преобразователь период-временной интервал-код, автономный измеритель, виртуальный измеритель, САПР LabVIEW.

Отримав подальший розвиток метод вимірювання функції короткочасної нестійкості частоти на базі перетворення період-часовий інтервал-код. Розроблено чотири варіанти його реалізації, отримано аналітичні співвідношення для основних метрологічних характеристик варіантів і проведено їх порівняльний аналіз. Реалізовано автономний і віртуальний вимірювачі, а також проведено експериментальні дослідження стандартних генераторів. Вказано особливості вимірювачів і шляхи їх подальшого вдосконалення.

Ключові слова: Короткочасна нестійкість частоти, перетворювач період-часовий інтервал-код, автономний вимірювач, віртуальний вимірювач, САПР LabVIEW.

The method for measuring of function short-term instability frequency got further development on the base of transformation period-temporal interval-code. Four variants of his realization are worked out, analytical correlations are got for

basic metrology descriptions of variants and their comparative analysis is conducted. The autonomous and virtual measuring devices are realized and also experimental studies of standard generators are undertaken. The features of measuring devices and way of their further perfection are indicated.

Key words: short-term instability, transformer period-temporal interval-code, autonomous measuring device, virtual measuring device, CADD of LABVIEW.

Постановка проблемы. Современные электронные системы имеют в своем составе большое число различных по назначению и функциональному построению источников сигналов с частотным выходом (ИЧВ), в качестве которых чаще всего используют генераторы сигналов, кварцевые генераторы или синтезаторы частоты [1-3]. Совершенствование электронных систем и расширение задач, выполняемых с их помощью, отразилось на ужесточении требований к характеристикам таких систем, в частности, к динамическим характеристикам (кратковременной нестабильности частоты, времени готовности, времени и скорости перехода с одной частоты на другую и т. п.). При этом достижение требуемых характеристик во многом возможно в результате совершенствования ИЧВ, что, в свою очередь, требует создания качественно новой измерительной аппаратуры измерения полных и частных динамических характеристик.

Анализ последних достижений и публикаций. Методы измерений кратковременной нестабильности частоты и измерители на их основе постоянно совершенствуются.

Для определения кратковременной нестабильности частоты часто используют метод сравнения с образцовой частотой. Наиболее простым является электронно-счётный метод [4]. Однако он имеет ряд существенных недостатков: значительную трудоемкость проведения испытаний, невозможность визуализации функции кратковременной нестабильности частоты в реальном масштабе времени, сложность конструктивной реализации.

Более совершенным является комбинированный метод с применением гетеродина и электронно-счетного частотомера, работающего в режиме измерения периода [4; 5]. В качестве опорного генератора используется образцовый источник. Период разностной частоты определяет время усреднения. К недостаткам следует отнести высокую трудоемкость установления времени усреднения, невозможность визуализации функции кратковременной нестабильности частоты.

Кратковременную нестабильность частоты можно также измерить с помощью фазового или частотного детектора [5]. При измерениях вольтметром эффективного значения напряжения сигнала на выходе фазового детектора оценивается среднеквадратическое значение флуктуации фазы. Если на выходе фазового детектора включена дифференцирующая цепь, то выходное напряжение будет прямо пропорционально флуктуациям частоты. Для оценки кратковременной нестабильности частоты необходимо перед вольтметром включить низкочастотный фильтр с прямоугольной характеристикой пропускания. Однако точность измерения в этом случае невелика.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Известные методы и измерители обладают недостаточной точностью измерения функции кратковременной нестабильности частоты (ФКНЧ) при заданном быстродействии, характеризуются сложностью конструктивной реализации.

Цель статьи. Цель работы состоит в разработке метода измерений ФКНЧ и экспериментальных исследованиях измерителей на его основе.

Изложение основного материала. При разработке метода измерения ФКНЧ за основу взят преобразователь период-временной интервал-код (ПВК), предложенный в [6; 7]. Этот метод предполагает выполнение следующих операций.

Пусть частота исследуемого сигнала $f_x(t)$ изменяется по закону:

$$f_x(t) = f_n \pm \Delta f_x(t), \quad (1)$$

где f_n и $\Delta f_x(t)$ – соответственно начальное значение частоты и ее изменение.

Соотношение (1) можно записать через период колебаний $T_x(t)$

$$T_x(t) = 1 / f_x(t) = 1 / [f_n \pm \Delta f_x(t)]. \quad (2)$$

Функция (2) с учетом очевидных преобразований принимает вид

$$T_x(t) = T_n \pm \Delta T_x(t). \quad (3)$$

где $T_n = 1 / f_n$ – начальное значение периода колебаний;

$$\Delta T_x(t) = \Delta f_x(t) / [f_n \cdot (f_n \pm \Delta f_x(t))] \quad (4)$$

– изменение периода колебаний.

Из импульсов исследуемой частоты (рис. 1, а) формируются последовательно следующие интервалы усреднения τ_{yj} (рис. 1, б), а из импульсов опорной частоты T_0 (рис. 1, с) опорные интервалы τ_0 (рис. 1, д). При этом всегда совмещаются во времени окончание предыдущего интервала опроса τ_n , который представляет собой больший из сформированных интервалов, и начала последующих интервалов усреднения и опроса, а длительности последних устанавливают равными

$$\tau_{yj} = n_x \cdot \overline{T_x(t)}_j; \tau_0 = n_0 \cdot T_0, \quad (5)$$

где j – индекс, относящийся к j -му интервалу опроса; n_x – количество периодов исследуемой частоты в интервале усреднения; $\overline{T_x(t)}_j$ – среднее значение периода исследуемых колебаний на j -м интервале опроса; n_0 – количество импульсов опорной частоты в опорном интервале.

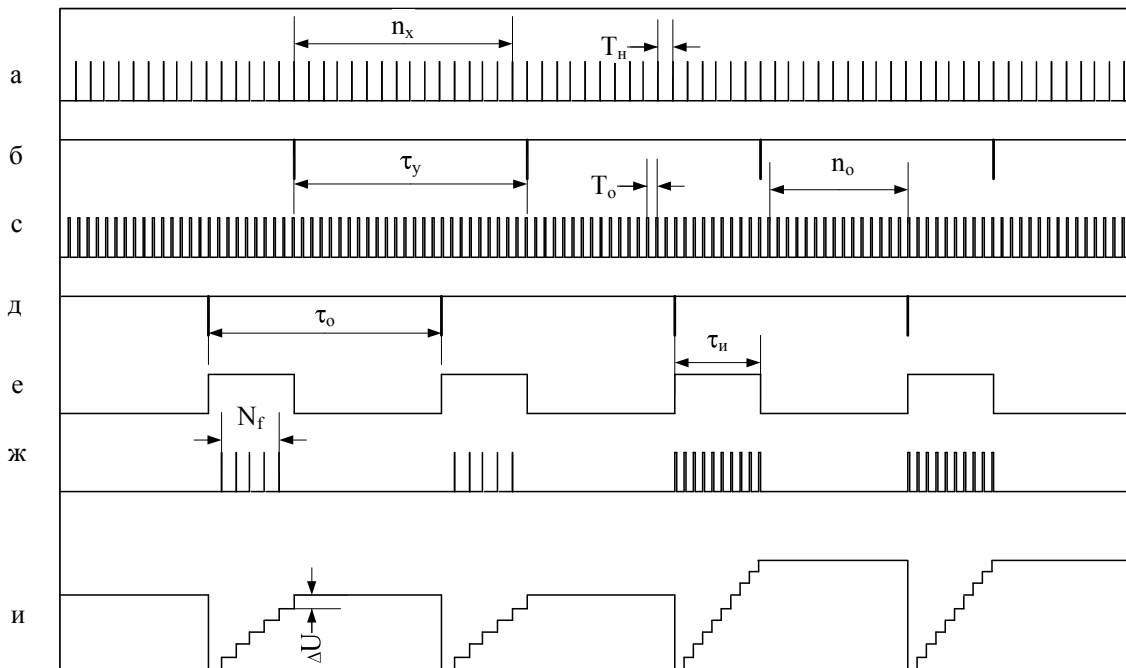


Рис. 1. Временные диаграммы работы метода на базе преобразования ПВК

Формируют измерительные интервалы как модуль разности соответствующих интервалов усреднения и опорных интервалов (рис. 1, е)

$$\tau_{uj} = |\tau_{yj} - \tau_0|, \quad (6)$$

которые коммутируют импульсы исследуемой или опорной (рис. 1, ж) частоты. Количество коммутируемых импульсов описывается соотношением

$$N_j = \tau_{uj} / T_{0,xj}, \quad (7)$$

где под N здесь и далее будем понимать целую часть числа; $T_{0,xj}$ – период следования импульсов опорной частоты или среднее значение периода следования импульсов исследуемой частоты на j -м измерительном интервале.

Количество импульсов преобразуется в напряжение (рис. 1, u) по закону

$$U_j = N_j \cdot \Delta U. \quad (8)$$

Таким образом, на соприкасающихся временных интервалах отклонения периода (частоты) исследуемых колебаний от начального значения преобразуется в последовательность отсчетов кода (напряжения) (рис. 1).

В зависимости от соотношения между τ_n и τ_0 , а также от коммутируемой измерительным интервалом частоты, возможны четыре варианта реализации рассматриваемого метода (табл. 1).

Однако во всех вариантах реализации рассматриваемого метода функция (8) с учетом (1)-(7) принимает вид

$$U_j = \left(\left| n_x \cdot T_n - n_o \cdot T_o \right| / T_{0,xj} \pm \overline{\Delta T_x(t)}_j / T_{0,xj} \right) \cdot \Delta U, \quad (9)$$

где $\overline{\Delta T_x(t)}_j$ – среднее значение приращение периода колебаний на j -м интервале опроса.

Для сравнительной метрологической оценки вариантов метода выведем аналитические соотношения, описывающие их основные метрологические характеристики.

Таблица 1

Варианты использования метода на базе преобразования ПВК

Наименование варианта	Отличительные признаки варианта		
	соотношение между τ_y и τ_0	формирование τ_u	коммутируемая частота
1-й вариант	$\tau_y > \tau_0$	$\tau_y - \tau_0$	f_0
2-й вариант	$\tau_y < \tau_0$	$\tau_0 - \tau_y$	f_0
3-й вариант	$\tau_y > \tau_0$	$\tau_y - \tau_0$	$f_x(t)$
4-й вариант	$\tau_y < \tau_0$	$\tau_0 - \tau_y$	$f_x(t)$

При 1-м варианте метода измерения ФКНЧ коэффициент n_o выбирают из условия

$$N_{01} = (n_x \cdot T_n - n_o \cdot T_o) / T_o, \quad (10)$$

полученного из функции (9) при $\overline{\Delta T_x(t)}_j = 0$. Величиной N_{01} здесь обозначено максимальное изменение количества коммутируемых импульсов, описываемое с учетом (1) – (5) соотношением $N_{01} = \tau_{n0} \cdot \Delta f_m \cdot f_0 / (f_0 - \Delta f_m)$, где τ_{n0} – начальное значение интервала опроса; Δf_m – максимально допустимое изменение частоты исследуемых колебаний.

Функция (10) с учетом (5), (8) и (9) принимает вид

$$U_{1j} = N_{1j} \cdot \Delta U = (N_{01} \pm \overline{N_{T1j, f1j}}) \cdot \Delta U. \quad (11)$$

где $\overline{N_{T1j}} = \tau_{n0} \cdot \overline{\Delta T_x(t)}_{1j} / (T_o \cdot T_n)$, $\overline{N_{f1j}} = -\tau_{n0} \cdot f_0 \cdot \overline{\Delta f_x(t)}_{1j} / [f_n \pm \overline{\Delta f_x(t)}_{1j}]$ – функция преобразования девиации периода и частоты в код соответственно.

Из анализа выражений (10) и (11) следует, что выходное напряжение на каждом интервале опроса имеет положительную линейную зависимость от среднего приращения периода, но отрицательную нелинейную – от среднего приращения частоты. Соотно-

шение (11) можно записать в виде линейной функции $\bar{N}'_{f1j} = -\tau_{n0} \cdot f_0 \cdot \overline{\Delta f_x(t)}_{1j} / f_n$, с погрешностью, не превышающей $\delta_{Mf1} = (\overline{N'_{f1j}} - \overline{N_{f1j}}) / \overline{N_{f1j}} = \Delta f_m / f_n$.

Исследуем переходные характеристики (ПХ) вариантов метода, представляющие собой его реакцию на ступенчатое изменение измеряемого параметра. Описание ПХ по

периоду найдем из условия $h_{T1} = U_1 \left| \overline{\Delta T_x(t)}_{1j} = \Delta T_c \right|^{-U_1} \left| \overline{\Delta T_x(t)}_{1j} = 0 \right|$. Оно имеет вид $h_{T1} = \tau_{n0} \cdot \Delta T_c \cdot \Delta U / (T_0 \cdot T_n)$, где ΔT_c – приращение исследуемого периода. Аналогичным образом для ПХ по частоте получим $h_{f1} = [-\tau_{n0} \cdot f_0 \cdot \Delta f_c / (f_n - \Delta f_c)] \cdot \Delta U$, где Δf_c – приращение исследуемой частоты.

Разрешающие способности метода по периоду ΔT_{p1} и частоте Δf_{p1} , найденные из условий $h_{T1} = \Delta U$ и $h_{f1} = \Delta U$ соответственно, описываются как

$$\Delta T_{p1} = T_0 \cdot T_n / \tau_{n0}, \quad \Delta f_{p1} = f_n / (\tau_{n0} \cdot f_0 + 1). \quad (12)$$

Из анализа (12) следует, что разрешающая способность по частоте и периоду определяется не только параметрами исследуемого сигнала и интервала опроса, но и начальным значением опорной частоты.

Для всех вариантов измерителя получены соотношения вида (10)...(12). Аналитические описания переходной характеристики по периоду h_T , частоте h_f и разрешающей способности по периоду ΔT_p , частоте Δf_p сведены в табл. 2.

Таблица 2

Метрологические характеристики вариантов метода

Вариант метода	Метрологические характеристики
I	$h_{T1} = \tau_{n0} \cdot \Delta T_c \cdot \Delta U / (T_0 \cdot T_n);$ $h_{f1} = [-\tau_{n0} \cdot f_0 \cdot \Delta f_c / (f_n - \Delta f_c)] \cdot \Delta U;$ $\Delta T_{p1} = T_0 \cdot T_n / \tau_{n0};$ $\Delta f_{p1} = f_n / (\tau_{n0} \cdot f_0 + 1)$
II	$h_{T2} = (\tau_{n0} - N_{02} \cdot T_0)^2 \cdot \Delta T_c \cdot \Delta U / (\tau_{n0} \cdot T_0 \cdot T_n);$ $h_{f2} = -(\tau_{n0} - N_{02} \cdot T_0)^2 \cdot f_0 \cdot \Delta f_c \cdot \Delta U / [\tau_{n0} \cdot (f_n - \Delta f_c)];$ $\Delta T_{p2} = T_0 \cdot T_n \cdot \tau_{n0} / (\tau_{n0} - N_{02} \cdot T_0)^2;$ $\Delta f_{p2} = f_0 \cdot f_n \cdot \tau_{n0} / [(\tau_{n0} \cdot f_0 - N_{02})^2 + \tau_{n0} \cdot f_0]$
III	$h_{T3} = \tau_{n0} \cdot \Delta T_c \cdot \Delta U / [(T_n - \Delta T_c) \cdot T_n];$ $h_{f3} = -\tau_{n0} \cdot \Delta f_c \cdot \Delta U;$ $\Delta T_{p3} = T_n^2 / (\tau_{n0} - T_n);$ $\Delta f_{p3} = 1 / \tau_{n0}$
IV	$h_{T4} = (\tau_{n0} - N_{04} \cdot T_n)^2 \cdot \Delta T_c \cdot \Delta U / [\tau_{n0} \cdot (T_n - \Delta T_c) \cdot T_n];$ $h_{f4} = -(\tau_{n0} - N_{04} \cdot T_n)^2 \cdot \Delta f_c \cdot \Delta U / \tau_{n0};$ $\Delta T_{p4} = T_n^2 \cdot \tau_{n0} / [(\tau_{n0} - N_{04} \cdot T_n)^2 + \tau_{n0} \cdot T_n];$ $\Delta f_{p4} = \tau_{n0} / (\tau_{n0} - N_{04} \cdot T_n)^2$

Проведем сравнительный анализ рассмотренных вариантов метода по величине разрешающей способности. С этой целью на рис. 2 приведены результаты расчета Δf_p при $N_0 = N_{01} = N_{02} = N_{03} = N_{04} = 128$.

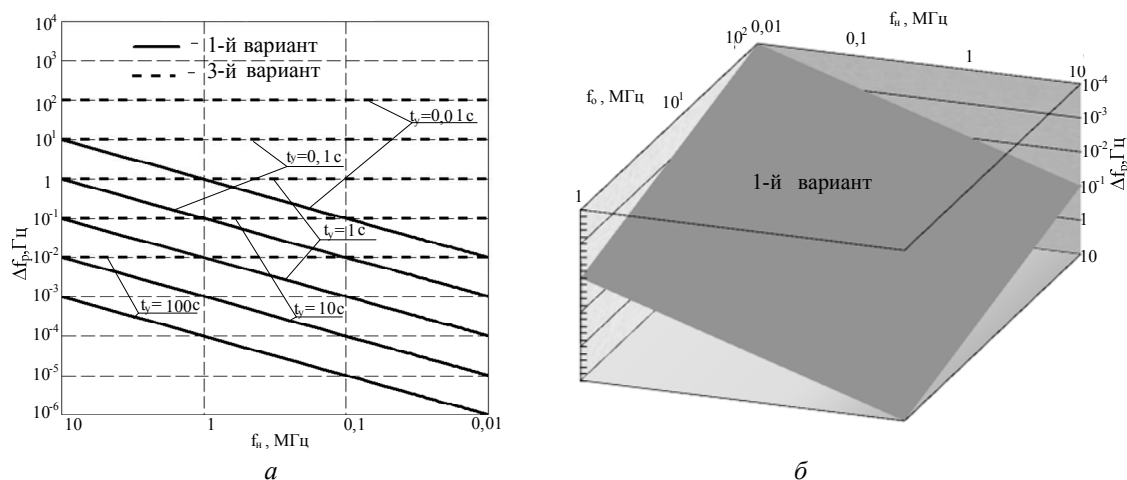


Рис. 2. Зависимость разрешающей способности измерителей:

а – от начального значения исследуемой частоты при $f_0 = 100$ МГц; б – от начального значения исследуемой частоты и частоты опорного сигнала при $\tau_y = 1$ с

Из анализа соотношений, приведенных в табл. 2, и рис. 2 следует:

- при $f_n > f_0 + (N_0 + 1)/\tau_y$ преимущества имеют 3-й и 4-й варианты измерителя;
- 1-й вариант характеризуется в $(\tau_{n0} \cdot f_0^2 + \tau_{n0} \cdot f_0) / [(\tau_{n0} \cdot f_0 - N_0)^2 + \tau_{n0} \cdot f_0]$ раз более высокой разрешающей способностью по сравнению со вторым вариантом.

На основе предложенного метода разработан автономный измеритель ФКНЧ, схема которого приведена на рис. 3. На выходах узлов буквами условно обозначены формы сигналов, которые показаны на рис. 2.

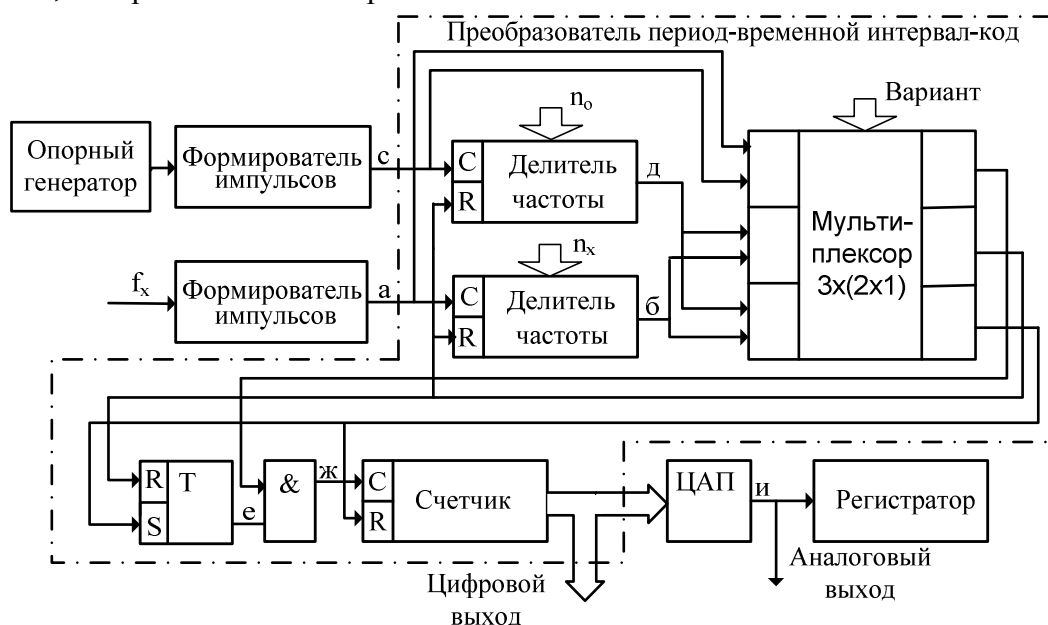


Рис. 3. Структура автономного измерителя функции КНЧ

Основными узлами являются делители частоты, формирующие интервалы усреднения (рис. 1, а) и опорные интервалы (рис. 1, с), из которых RS-триггером образуются измерительные интервалы (рис. 1, е). Длительность последних измеряется счетчиком с

помощью исследуемой или опорной частот (рис. 1, *ж*). Выходной код счетчика преобразуется в напряжение стандартным цифро-аналоговым преобразователем (рис. 1, *и*).

Внешний сигнал “Вариант” управляет тремя двухходовыми мультиплексорами, выходными сигналами которых задается вариант реализации метода.

Измеритель ФКНЧ создан на пульте PLD Emulator, который используется в учебном процессе Черниговского национального технологического университета [8]. Цифровые компоненты реализованы на программируемых логических интегральных схемах фирмы Altera и цифро-аналоговом преобразователе фирмы Analog Devices.

Анализ структуры измерителя и его экспериментальные исследования выявили следующие особенности:

- измеритель характеризуется незначительной сложностью конструктивной реализации из-за простоты исключения из результатов измерения информации о начальном значении периода исследуемой частоты и низкой разрядностью ЦАП, которая зависит только от значения девиации частоты;
- отклонения частоты преобразуется в отклонения напряжения, что позволяет применять для визуализации, например, любые стандартные осциллографы;
- анализ функции КНЧ дает возможность дополнительно исследовать влияние различных дестабилизирующих факторов на изменение частоты ИЧВ и прогнозировать, в частности, их надежность;
- при исследовании ИЧВ со значительной долговременной нестабильностью частоты или подверженных влиянию дестабилизирующих факторов необходимо изменять и устанавливать коэффициент n_0 при испытаниях, что увеличивает время их проведения.

Для снижения времени проведения испытаний следует автоматизировать процесс исключения из результатов измерения информации о начальном значении исследуемой частоты. Это может быть реализовано, в частности, применением виртуальных измерителей.

Виртуальный измеритель (ВИ) – совокупность компьютера, относительно несложного аппаратного оборудования (первичных и вторичных преобразователей, драйверов интерфейсов и т. д.) и компьютерных программ, которые выполняют функции различных измерительных приборов [9; 10].

Основу виртуального измерителя ФКНЧ составляет преобразователь ПВК, структура которого на рис. 2 выделена штрих пунктирной линией.

Разработка компьютерных программ при создании ВИ осуществляется по двум возможным направлениям:

- разработка программ на основе текстового программирования;
- использование инструментальных проблемно ориентированных средств (графического программирования).

Использование текстового программирования для каждого конкретного проекта хотя и может быть наиболее оптимальным с точки зрения решения определенной задачи, но необходимость каждый раз решать задачу практически с нуля, рост временных и материальных затрат существенно снижает его достоинства. В данной связи все большее предпочтение отдается специализированному программному обеспечению, в частности, графическому программированию.

В настоящее время применяют десятки систем автоматизированного проектирования (САПР), применяющих для создания ВИ графическое программирование, например, LabVIEW фирмы National Instruments (США), DASYLab фирмы DATALOG GmbH (Германия), DIAdem фирмы GfS mbH (Германия), ZETLAB ЗАО “Электронные технологии и метрологические системы” (Россия), Hypersignal фирмы Hyperception (США) т.д.

Фирма National Instruments является разработчиком технологии виртуальных приборов – революционной концепции, изменившей подходы и методику разработки сис-

тем сбора данных и управления измерениями, а ее САПР LabVIEW де-факто стала международным стандартом. Эта САПР и применялась при разработке виртуального измерителя ФКНЧ.

Фирма National Instruments более десяти лет назад предложила и запатентовала новый графический язык программирования G. Оперируя знакомыми понятиями (функциональный блок, соединение, диаграмма), инженер быстро и, что очень важно, наглядно решает поставленную задачу, не углубляясь в дебри программирования. Применение языка программирования G по самым осторожным оценкам позволяет сократить сроки выполнения работ как минимум в 4-10 раз.

Компьютерная программа, создаваемая в Labview (прикладное программное обеспечение), состоит из двух взаимосвязанных частей: лицевой панели и блок – диаграммы (рис. 4).

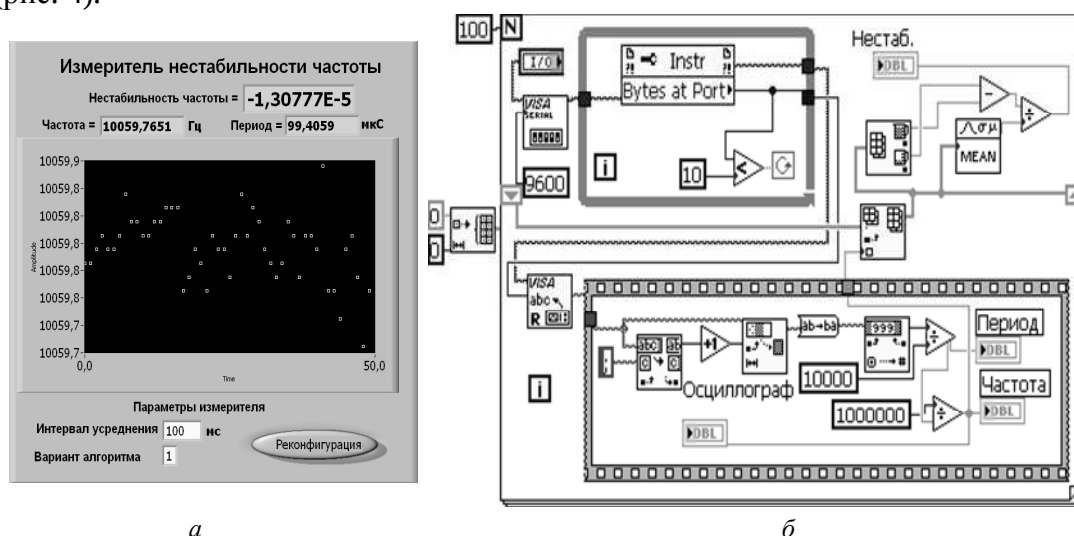


Рис. 4. Прикладное программное обеспечение: а – лицевая панель; б – блок-диаграмма

На лицевой панели размещаются ручки управления, кнопки, графические индикаторы и другие элементы управления (controls), которые являются средствами ввода данных со стороны пользователя, и элементы индикации (indicators) — выходные данные из программы. Сотни элементов контроля и управления сведены в отдельные библиотеки по функциональному назначению. Элементы вводят посредством мыши и клавиатуры, после чего результаты действия появляются на экране монитора.

Виртуальный измеритель ФКНЧ содержит на передней панели 4 элемента индикации и 2 элемента управления. Наибольший интерес представляет элемент индикации осциллограф Chart, который имеет десятки параметров для настройки его работы. В измерителе для осциллографа Chart установлен параметр Chart/Y Scale/AutoScale Y, обеспечивающий автоматическое масштабирование по оси Y. В этом случае на осциллограф выводятся значения исследуемой частоты в диапазоне от минимального до максимального значений. Это позволяет визуализировать функцию изменения частоты без проведения различных подстроек во время испытаний.

На блок-диаграмме элементы лицевой панели представлены в виде терминалов, через которые данные поступают от пользователя в программу и обратно. Блок-диаграмма описывает логику работы виртуального измерителя: сбор данных с коммуникационных интерфейсов, математическую обработку, вычисление сопутствующих величин, передачу данных на индикаторы, сохранения результатов. В LabVIEW создана расширенная библиотека функций и готовых к использованию подпрограмм, которые реализуют большое число типичных задач программирования и тем самым избавляют от рутинной работы, присущей традиционным языкам программирования.

В измерителе реализован стандартный алгоритм определения КНЧ ($\delta_{\text{КНЧ}}$) по формуле $\delta_{\text{КНЧ}} = (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) / f_{\text{ном}}$, где f_{max} и f_{min} – соответственно максимальное и минимальное значение частоты, измеренное на интервале усреднения; $f_{\text{ном}}$ – номинальное (среднее) значение частоты во время проведения испытаний [3].

Основные функциональные блоки виртуального измерителя:

- VICA Read и VICA Write обеспечивают обмен информацией по интерфейсу RS-232;

- Array Max & Min и Mean определяют максимальное, минимальное и среднее значение периода исследуемых колебаний в массиве, размерность которого указана пользователем.

Применение функциональных блоков, которые входят в состав САПР LabVIEW и неоднократно проверены различными разработчиками, значительно сократило время разработки измерителя и повысило надежность его работы.

Архитектура виртуального измерителя приведена на рис. 5.

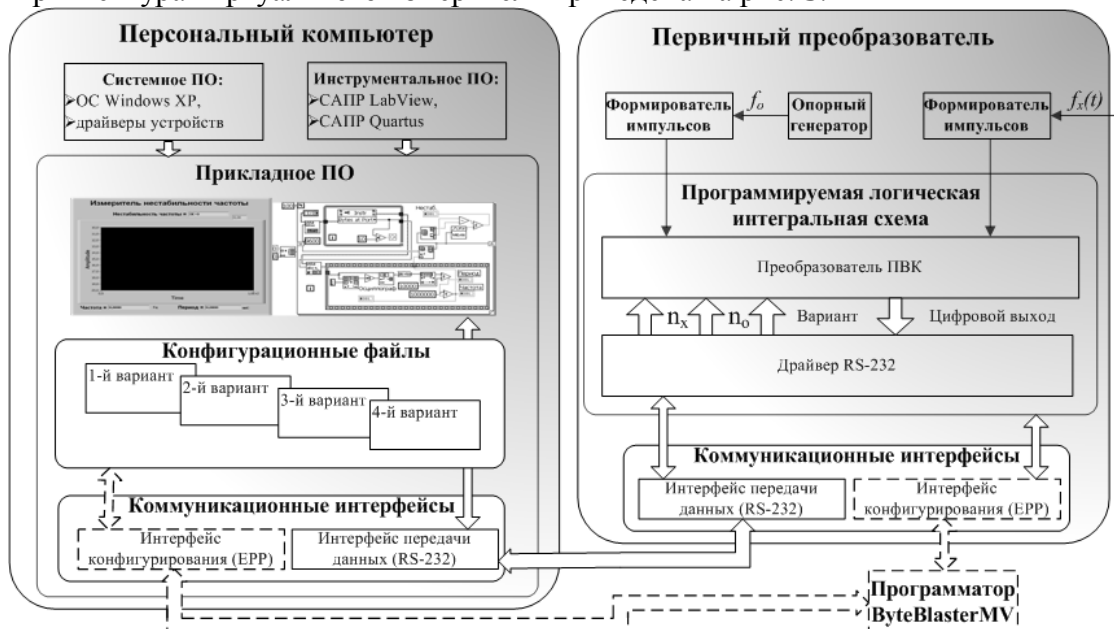


Рис. 5. Архитектура виртуального измерителя функции КНЧ

Виртуальный измеритель реализован на стандартном персональном компьютере с ОС Windows. Допускается применение ОС UNIX, Linux, Mac OS, Microsoft Pocket PC, Microsoft Windows CE, Palm OS, а также реализация измерителя на ноутбуке.

Конфигурационные файлы разработаны в САПР Quartus и предназначены для определения варианта реализации первичного преобразователя, который реализован на ПЛИС фирмы Altera.

Связь между ПК и первичным преобразователем осуществляется по двум каналам: по последовательному интерфейсу осуществляется передача информации на ПК, а также задание параметров и варианта реализации преобразователя ПВК, а по параллельному интерфейсу, работающему в режиме EPP, программатором ByteBlasterMV производится конфигурирование ПЛИС.

Результаты испытаний генераторов приведены на рис. 6, откуда можно сделать вывод о потенциальной низкой надежности второго генератора из-за наличия значительной долговременной нестабильности частоты.

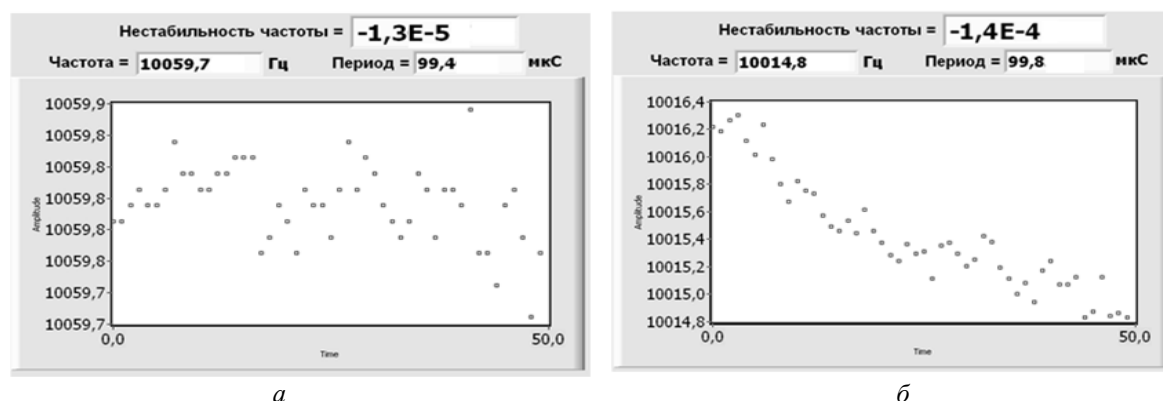


Рис. 6. Результаты измерения функции КНЧ генераторов сигналов низкочастотных ГЗ-109:
 а – заводской номер 67334; б – заводской номер 72724

Выводы и предложения. Разработаны четыре варианта метода измерения ФКНЧ. Для всех вариантов описаны метрологические характеристики, показана их индивидуальность.

Доказано, что максимальной разрешающей способностью характеризуется первый вариант, если величину опорной частоты выбрать равной предельной частоте работы элементной базы.

Улучшены разрешающая способность и уменьшено время проведения испытаний из-за формирования соприкасающихся временных интервалов, что позволило учитывать в результатах измерения информацию об изменении каждого периода исследуемых колебаний.

Разработаны автономный и виртуальный измерители ФКНЧ. Применение САПР LabVIEW и реконфигурируемых ПЛИС при проектировании и эксплуатации виртуального измерителя обеспечило заметные преимущества предложенного измерителя перед известными: упрощено управление параметрами измерителя; обеспечены автоматическое масштабирование при визуализации ФКНЧ, возможность изменения пользователем передней панели, а также блок-схемы виртуального измерителя и реконфигурируемых файлов в процессе эксплуатации.

Дальнейшее развитие измерителя возможно в направлении увеличении количества измеряемых параметров ИЧВ, в частности, изменения КНЧ от воздействия дестабилизирующих факторов, характеристики и времени установления частоты [1; 2]. Для этого необходимо разработать управляемый источник дестабилизирующих факторов и синхронизировать его работу с измерителем.

Повышение разрешающей способности может быть достигнуто применением умножения девиации частоты с помощью стандартных приборов (компаратора частоты и синтезатора частоты) по стандартной схеме [4; 5].

Список использованных источников

1. ГОСТ 22866-77. Генераторы кварцевые. Термины и определения. – Действующий с 01.01.79. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 11 с. – (Межгосударственные стандарты).
2. ДСТУ ІЕС 60679-2-2000 (ГОСТ 30695-2000). Генератори кварцові. Частина 2. Настанова з застосування кварцових генераторів. – Чинний з 01.07.2001. – К. : Держспоживстандарт України, 2001. – 55 с.
3. ГОСТ 8.314-78. Генераторы низкочастотные измерительные. Методы и средства поверки. – Действующий с 01.07.79. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 12 с. – (Межгосударственные стандарты).
4. Зайцев З. Характеристики время-частотных измерений / З. Зайцев // Современная электроника. – 2009. – № 9. – С. 64-64.
5. Измерения в электронике : справочник / В. А. Кузнецов, В. А. Долгов, В. М. Коневских и др. ; под ред. В. А. Кузнецова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.

6. Пат. 1774279 Российская Федерация, МКИ³ G 01 R 23/00. Устройство для измерения кратковременной нестабильности периода / А. И. Вервейко ; заявитель и патентообладатель Производственное объединение "Черниговский радиоприборный завод". – № 4837835/21 ; заявл. 11.05.90 ; опубл. 07.11.92, Бюл. № 41.

7. А. с. 1723563 СССР, МКИ³ G 05 B 23/02. Измеритель переходных характеристик / А. И. Вервейко, А. П. Коваль, С. Н. Макарук и Ю. С. Шмалый (СССР). – № 4798085/21 ; заявл. 08.12.89 ; опубл. 30.02.92, Бюл. № 12.

8. V. Pavlovsky, A. Verveiko, I. Shkola Reconfigured laboratory complexes in educational process of the Chernihiv state technological university / Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application // Proceedings of the 1st International Conference ACSN-2003. – Lviv : Publishing House of Lviv Polytechnic National University. – 2003. – С. 46-47.

9. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 400 с.

10. Рубичев Н. А. Измерительные и информационные системы : учебное пособие / Н. А. Рубичев. – М. : Дрофа, 2010. – 334 с.

УДК 004.75

А.М. Волокита, канд. техн. наук

С.В. Пих, магістр

В.В. Воробйов, магістр

Д.С. Вітюк, магістр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВАТНОЇ ХМАРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОБЧИСЛЕНЬ КРЕДИТНОГО СКОРИНГУ

А.Н. Волокита, канд. техн. наук

С.В. Пих, магистр

В.В. Воробйов, магистр

Д.С. Витюк, магистр

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВАТНОЙ ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА

Artem Volokyta, PhD in Technical Sciences

Sviatoslav Pikh, master

Vitalii Vorobiov, master

Dmytro Vitiuk, master

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

THE INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF PRIVATE CLOUD-SYSTEMS FOR CALCULATION THE SCORECARD COEFFICIENT

Запропоновано приватну хмарну систему для розподілених обчислень коефіцієнтів скорингових карт. Проведено експериментальні дослідження ефективності запропонованої системи.

Ключові слова: приватна хмара, скорингові карти, лінійне програмування, регресійний аналіз.

Предложено частную облачную систему для распределенных вычислений коэффициентов скоринговых карт. Проведены экспериментальные исследования эффективности предложенной системы.

Ключевые слова: приватное облако, скоринговые карты, линейное программирование, регрессионный анализ.

Proposed private cloud system for distributed computing coefficients scorecard. Experimental research on the effectiveness of the proposed system.

Key words: private cloud, scorecards, linear programming, regression analysis.

Вступ. Кредитний скоринг – це метод класифікації різних груп потенційних клієнтів в умовах, коли доступна інформація не про параметри, які поділяють ці групи, а тільки про деякі вторинні змінні. Доступна інформація про потенційних позичальників міститься в заповнених ними анкетах. Такі фактори, як річний дохід, розмір непогаше-

ного боргу, володіння нерухомістю або автомобілем, стаж роботи на останньому місці, вік і т. ін. потенційно пов'язані з кредитоспроможністю і тому можуть виявитися вхідними змінними в моделі [1; 2]. Якщо деяким соціальним характеристикам клієнта присвоїти певні ваги, то кожного нового клієнта можна, на основі його анкети, віднести до певної групи. Набір цих характеристик та відповідних вагових коефіцієнтів, називають скоринговою картою, розроблення якої проводиться на основі статистичного оброблення великих масивів історичних даних по прецедентах. Згідно з Fair & Isaac у ході побудови скорингової моделі можуть бути враховані 50-60 змінних, внаслідок кореляцій у кінцеву модель потрапляють не більше 8-12 [3].

Хмарні обчислення являють собою модель для забезпечення зручного мережевого доступу до загального пулу обчислювальних ресурсів (наприклад, мереж, серверів, систем зберігання даних, програм та послуг), що налаштовуються і які можна швидко виділити і надати з мінімальними управлінськими зусиллями або мінімальним втручанням з боку постачальника послуг [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині для кредитного скорингу використовуються методи статистики (дискримінантний аналіз, лінійна регресія, логістична регресія, дерева класифікації), дослідження операцій (лінійне програмування, нелінійна оптимізація) і штучного інтелекту (нейронні мережі, експертні системи, генетичні алгоритми, методи найближчих сусідів, байєсовські мережі, логіко-імовірнісні методи). Зазначені методи можуть застосовуватися як окремо, так і в різних комбінаціях.

Приватні хмари поєднують у собі гнучкість і цінові переваги «хмари» з контролем за наданням послуг і безпекою (рис. 1).

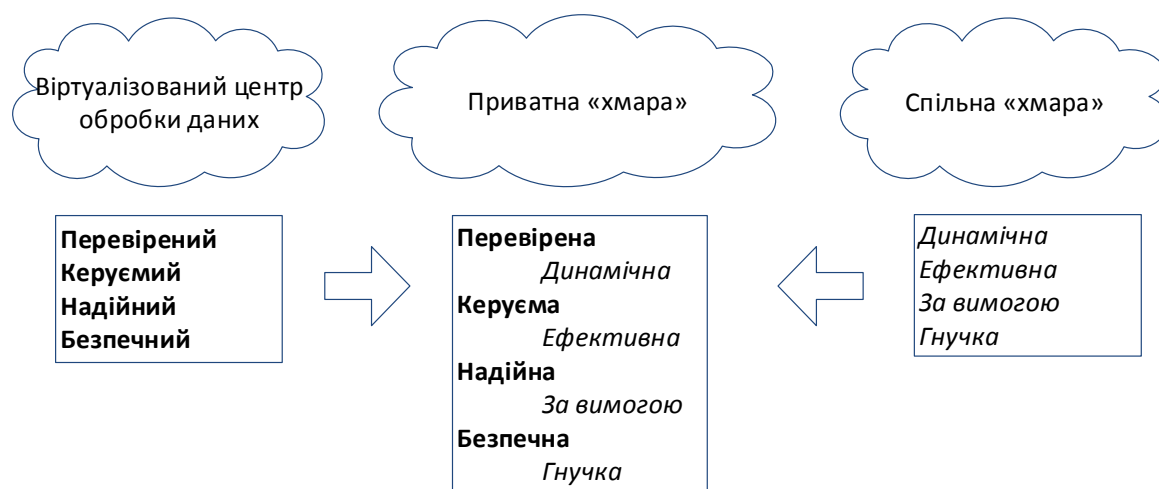


Рис. 1. Характеристики приватної хмарної хмари

Приватні хмари пропонують шлях міграції, дозволяючи віртуалізувати і модифікувати необхідні додатки з потрібним темпом. Це дає можливість захистити інвестиції в інфраструктуру, додатки та інформацію, забезпечивши при цьому ефективно і гнучке використання даних ресурсів [5; 6; 7].

Постановка задачі пошуку коефіцієнтів скорингових карт. Проблему кредитного скорингу можна розглядати як завдання класифікації: знаючи відповіді на питання анкети $x \in A$, визначити, до якої групи належить позичальник: $x \in A_g$ для «хороших клієнтів», і $x \in A_b$ для «поганих». При цьому необхідно розуміти, що абсолютно точна класифікація принципово неможлива.

Згідно з проведеними дослідженнями [8], до теперішнього часу не отримано відомостей про значні переваги якого-небудь з традиційних методів скорингу в точності одержуваних результатів, тобто рівні похибок під час використання цих методів є порі-

вняними. Так, для одних методів (лінійна регресія) бажано використання рівних часток «поганих» і «хороших», тоді як інші методи (дерева класифікації, байєсовські мережі) вимагають, щоб вибірка відображала реальне співвідношення «поганих» і «хороших» клієнтів. Більшість статистичних методів призводять до побудови правила класифікації, заснованого на лінійній скорингової функції.

У процесі реалізації будемо розглядати 2 методи: регресійний аналіз як один з найпоширеніших методів та лінійне програмування, що дає можливість включити в програму додаткові обмеження [9; 10].

Рівняння множинної регресії (з багатьма змінними) у вигляді:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon,$$

де $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ – вектор незалежних (пояснюючих) змінних; $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$ – вектор параметрів (що визначаються); ε – випадкова помилка (похибка); Y – залежна (пояснювальна) змінна. Для оцінювання параметрів β використовується метод найменших квадратів.

У методі лінійного програмування є набір даних, що включає в себе відповіді на питання x_i для кожного з N клієнтів і індикатори Y_i . Лінійна функцію $s(x)$, яка розділяє «хороших» і «поганих» клієнтів, шукається з міркувань мінімізації помилки a_i .

$$\begin{cases} a_1 + \dots + a_N \rightarrow \min \\ w_1 x_{i1} + \dots + w_m x_{im} \geq c - a_i, & Y_i = 0, \\ w_1 x_{i1} + \dots + w_m x_{im} \leq c + a_i, & Y_i = 1, \\ a_i > 0 \end{cases}$$

Мінімізація проводиться за змінним $(w_1, \dots, w_m, c, a_1, \dots, a_N)$. Додаткові обмеження можна накласти через обмеження відповідних ваг $w_i \geq w_i^0$.

Розроблення системи. У цій роботі використана модель тонкого клієнта, в межах якої вся логіка та управління даними зосереджені на сервері, а клієнтська програма забезпечує тільки функції рівня представлення.

Вимоги до системи. Для виконання обчислень обраними методами розроблена система, яка відповідає таким вимогам:

- 1) заснована на клієнт-серверній архітектурі для доступу через відкрите API;
- 2) повністю віртуальна, щоб підходити під визначення приватної cloud-системи;
- 3) забезпечує можливість виконувати планування та розподілення задачі пошуку коефіцієнтів скорингових карт;
- 4) обмеження: планувальник повинен постійно отримувати інформацію від вузлів про їх стан.

Для створення приватної хмари обрано open source рішення для віртуалізації Openstack 2011.3 [11]. Це рішення дозволяє замінити метод планування для прикладної задачі обчислення коефіцієнтів скорингових карт. Загальна структура системи представлена на рис. 2 і передбачає використання клієнт-серверної архітектури.

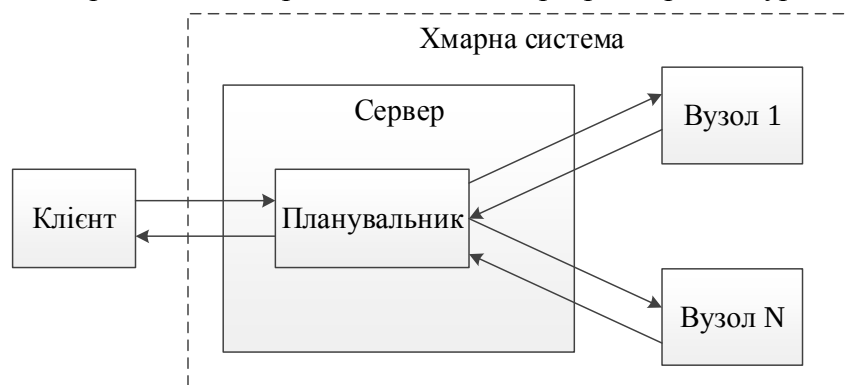


Рис. 2. Структура приватної хмарної системи

Розподілення завдань по ресурсах у неоднорідних розподілених системах належить до класу NP-повних задач. Як метод планування обрано метод покрокового планування [12]. Метод підходить для неоднорідних систем, в яких банки можуть виконувати власні обчислювання. Обладнання можна використати як компоненти неоднорідної системи зі збереженням однорідності обчислювального середовища. Для моделювання використовуватимемо віртуальні вузли на основі ОС Ubuntu 12.04 [13]. Через обмеження моделювання для проведення тестів використовуватимемо 4 віртуальні вузли.

Віртуалізація виконана за допомогою пакета з відкритим кодом Openstack, загальна структура системи віртуалізації представлена на рис. 3.

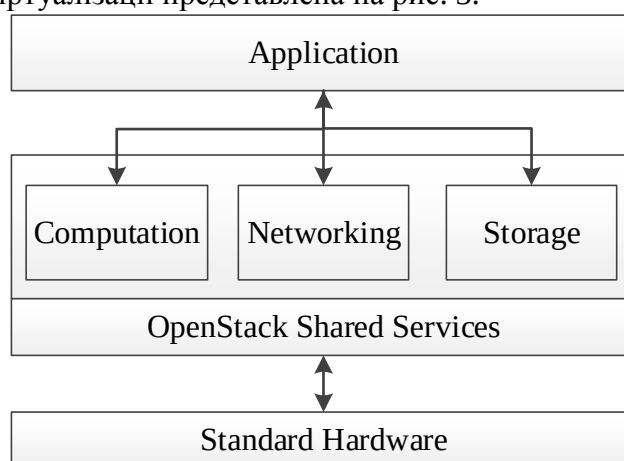


Рис. 3. Структура системи віртуалізації OpenStack

Планувальник потактово виконує такі дії:

1. Перевірка потоку вхідних заявок і формування черг.
2. Оцінювання вимогливості задач до ресурсів.
3. Планування розкладу задач від найбільш вимогливих до найменш вимогливих.
4. Перевірка журналу планування та завантаження задач на ресурси.

Розроблювана система призначена для управління сервером та обчислювальними вузлами: створення API для зовнішнього клієнта, планування задач, управління передачею даних, запуску прикладних задач на обчислювальних вузлах та організацію зберігання даних у розподіленій системі.

Для вирішення прикладної математичної задачі побудови скорингової карти використані готові реалізації:

- реалізацію регресійного аналізу у бібліотеці `org.apache.commons.math.stat`;
- реалізацію методу лінійного програмування в бібліотеці `lp_solve 5.5.2.0`.

Бібліотека Apache commons-math включає базові методи математичної статистики, частотні розподіли, двоваріантну регресію, функцію хі-квадрат та статистичні тести ANOVA [14].

Бібліотека `lp_solve 5.5.2.0` спеціалізована на методах лінійного програмування, має відкриті коди та API, що підходить для розроблення системи побудови скорингових карт [15].

Експериментальні дослідження. У більшості банків використовуються різні види скорингу: Application scoring для оцінювання кредитної заявки, скоринг поведінки, або Behavioral scoring, для аналізу дій позичальника та його платоспроможності, Collection scoring для роботи з простроченою заборгованістю і Fraud scoring, націлений на оцінку ймовірності шахрайських дій з боку позичальника. Крім перерахованих, є такі технології скорингу, які дозволяють аналізувати ефективність спрямованих споживачеві пропозицій (скоринг відгуку, Response scoring) і оцінювати ймовірність, що споживач піде до іншого банку (скоринг втрат, Attrition scoring).

Для тестування системи використовується вибірка з 15 анкетних питань, кожна з відповідей оцінюється коефіцієнтом, нормалізованим до інтервалу $[-1;1]$. Еталон визначає «правильні» відповіді в анкеті. Керуючись еталоном, згенеровано експериментальну вибірку анкет, які є вхідними даними методів регресійного аналізу і лінійного програмування для отримання скорингових карт.

Оскільки для обчислення рейтингу анкети використовують суму ненормованих коефіцієнтів, то можна побачити, що по кожному з методів похибка симетрична. Метод лінійного програмування має в середньому меншу похибку, ніж регресійний аналіз. Числові дані для порівняння та відносні похибки кожного з методів також наведено в табл.

Таблиця

Дані точності обчислень регресійного аналізу та лінійного програмування

№ коеф.	Еталон	Лінійний метод	Регресійний метод	δ лін. методу	δ регр. методу
1	-0,2	-0,13043	-0,39722	0,347863	0,986077
2	0,4	0,373731	0,075457	0,065673	0,811357
3	0,32	0,235657	0,481272	0,263572	0,503975
4	0,12	0,132875	0,133429	0,107289	0,111906
5	0,3	0,411536	0,300159	0,371788	0,00053
6	0,24	0,221411	0,34919	0,077452	0,454957
7	0,72	0,530287	0,739118	0,263491	0,026552
8	0,8	0,850655	0,174108	0,063318	0,782366
9	0,76	0,479773	0,338125	0,36872	0,555099
10	0,12	0,101027	0,042181	0,158107	0,648493
11	-0,1	-0,08138	-0,11746	0,186249	0,17456
12	0,26	0,238436	0,36683	0,082937	0,410885
13	-0,32	-0,35167	-0,32975	0,09898	0,030473
14	-0,1	-0,10532	-0,01784	0,053152	0,821575
15	-0,12	-0,09338	-0,23706	0,221814	0,975516
16	0,36	0,336559	0,217071	0,065115	0,397025
17	0,3	0,379333	0,549964	0,264442	0,833214
18	-0,06	-0,06213	-0,11403	0,035542	0,900518
19	0,2	0,159438	0,337855	0,202808	0,689276
20	0,14	0,110718	0,039018	0,209157	0,721297
21	-0,12	-0,08504	-0,1227	0,291359	0,022497
22	0,12	0,11183	0,21521	0,06808	0,793418
23	-0,06	-0,07149	-0,01844	0,191557	0,692656
24	-0,08	-0,08918	-0,1161	0,114733	0,451248
25	-0,14	-0,12441	-0,03305	0,111367	0,763939
26	-0,4	-0,50381	-0,6357	0,259525	0,58926
27	-0,3	-0,34352	-0,41649	0,145063	0,388304
28	-0,52	-0,42444	-0,50805	0,183768	0,022977
29	-0,54	-0,62387	-0,44926	0,155318	0,168035
30	-0,62	-0,80196	-0,75622	0,293482	0,21971
Середнє				0,177391	0,498256

На рис. 4. проілюстрована похибка результатів обчислень регресійного та лінійного методу порівняно з еталоном.

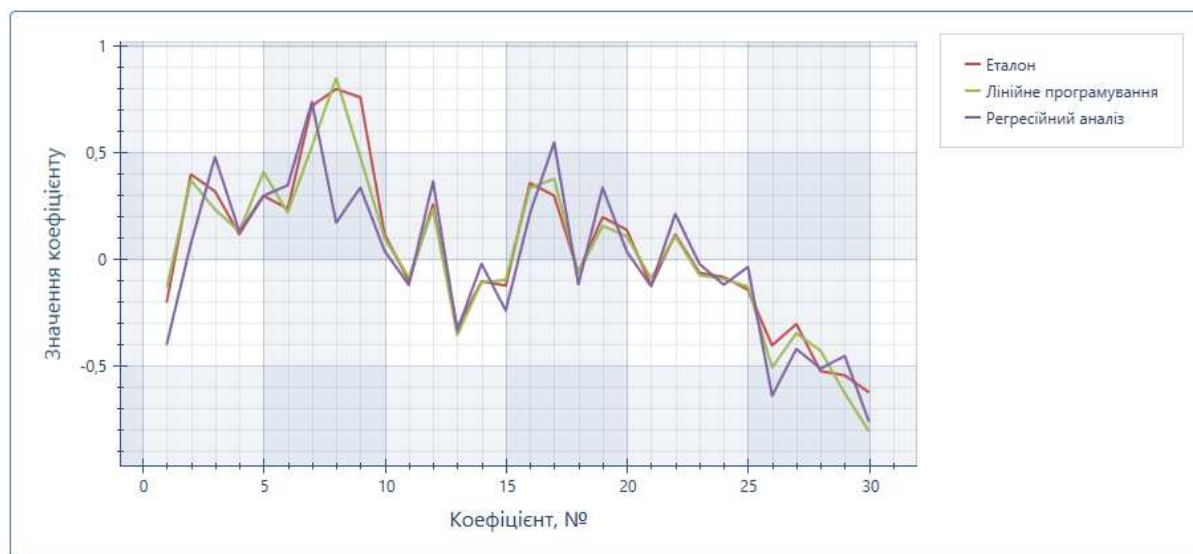


Рис. 4. Порівняння результатів оброблення даних різними методами з еталоном

На рис. 5. наведено порівняння часу, затраченого на виконання обчислень відповідно методами лінійного програмування та регресійного аналізу.

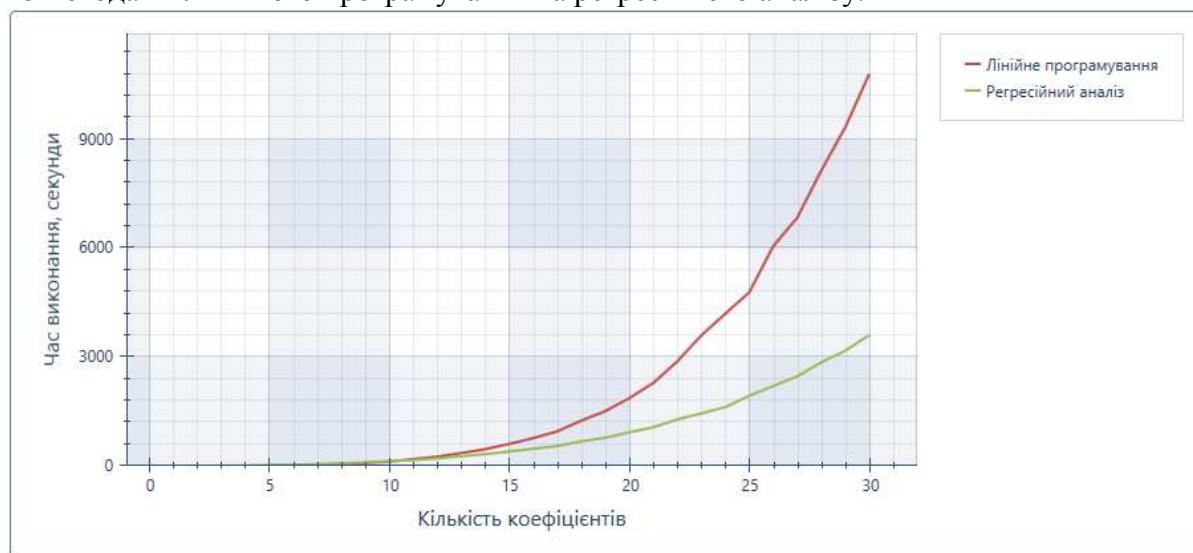


Рис. 5. Порівняння часу виконання методів у хмарній системі (витрати часу на обчислення коефіцієнтів скорингових карт)

Як видно з рис. 5, метод лінійного програмування повільніший, незважаючи на те, що він має кращі можливості для розпаралелювання у хмарі. При цьому необхідно зазначити, що при збільшенні кількості задіяних вузлів метод регресійного аналізу не дасть суттєвого виграшу у продуктивності в порівнянні з методом лінійного програмування.

Висновки. Про ефективність застосування методів у cloud-системах говорить той факт, що збільшення вузлів призводить до зменшення часу на побудову скорингової карти. Метод лінійного програмування має хорошу точність і добре розпаралелюється, але при цьому вимагає набагато більше обчислень. У результаті для великої кількості коефіцієнтів він значно програє регресійному аналізу у продуктивності. Регресійний аналіз потенційно погано розпаралелюється, але має доволі малу обчислювальну складність. З іншого боку, для побудови скорингової карти за допомогою регресійного аналізу не обов'язково мати приватну хмарну систему. При цьому для отримання результатів з тією ж точністю необхідно буде більше часу.

У майбутніх дослідження механізм обчислення коефіцієнтів скорингових карт може бути використаний для розроблення моделі довіри та гарантій безпеки користувачів розподілених комп'ютерних систем.

Список використаних джерел

1. Шакирова А. Р. Скоринг как метод оценки риска неплатежеспособности заемщика / А. Р. Шакирова, Э. В. Саяхова // Экономика и социум. – 2012. – № 2.
2. Уланов С. В. Оценка качества и сравнение скоринговых карт / С. В. Уланов // Экономические науки. – 2009. – № 9 (58). – С. 330-335.
3. Модели кредитного и поведенческого скоринга [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://masters.donntu.edu.ua/2006/kita/shepeleva/library/metod%20scoring.pdf>.
4. Olivier Brian, Thomas Brunschwiler, Heinz Dill and others. Cloud computing. White paper [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.satw.ethz.ch/organisation/tpf/tpf_ict/box_feeder/2012-11-06_2_SATW_White_Paper_Cloud_Computing_EN.pdf.
5. Siani Pearson, Yun Shen, Miranda Mowbray. A Privacy Manager for Cloud Computing // Cloud Computing. Lecture Notes in Computer Science Volume 5931, 2009. – P. 90-106.
6. Wayne Jansen, Timothy Grance. Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing // National Institute of Standards and Technology. – U.S. : Department of Commerce. Special Publication 800-144.
7. Bhaskar Prasad Rimal, Eunmi Choi. A taxonomy and Survey of Cloud Computing Systems // School of Business IT, Kookmin University. 2009 Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC.
8. Гараган С. А. Метод эмпирической скоринговой функции и его использование в кредитном процессе [Электронный ресурс] / Гараган Сергей Александрович. – Режим доступа : http://crosys.org/empirical_scoring_function.html.
9. Бородич С. А. Эконометрика : учебное пособие [Электронный ресурс] / С. А. Бородич. – Минск : Новое знание, 2001. – 408 с. – Режим доступа : http://www.economy.bsu.by/library/Бородич_Эконометрика/Бородич_Эконометрика.pdf.
10. Логистическая регрессия и ROC-анализ - математический аппарат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.basegroup.ru/library/analysis/regression/logistic>.
11. Gomez-Folgar, F., Garcia-Loureiro, A., Pena, T.F., Valin, R. Performance of the CloudStack KVM Pod Primary Storage under NFS Version 3// IEEE 10th International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA), 2012.
12. Система пространственного распределения заданий в распределенных вычислительных системах / А. В. Симоненко, С. В. Пих, Н. В. Слуцкий, В. В. Воробйов // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2013. – № 56. – С. 94-97.
13. Stanik, A., Hovestadt, M. ; Odej Kao. Hardware as a Service (HaaS): The completion of the cloud stack// Computing Technology and Information Management (ICCM), 2012 8th International Conference on (Volume:2).
14. Apache Commons. Commons Math. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://commons.apache.org/proper/commons-math/userguide/overview.html>.
15. Introduction to lp_solve 5.5.2.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5>.

УДК 004.7

В.Е. Мухин, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина

**СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МАРШРУТИЗАТОРА
ДЛЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ****В.Є. Мухін**, канд. техн. наук

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

**СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ МАРШРУТИЗАТОРА
ДЛЯ БАГАТОКАНАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ****Vadim Mukhin**, PhD in Technical Sciences

National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnical Institute”, Kiev, Ukraine

**STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE ROUTER FOR THE MULTICHANNEL
COMPUTER SYSTEMS**

Предложен специализированный маршрутизатор для распределенных компьютерных систем (РКС), в котором используются внутренние многоканальные связи. Данный маршрутизатор обеспечивает устранение взаимных блокировок маршрутизируемых потоков данных при реализации различных механизмов маршрутизации, что позволяет поддерживать множество одновременно функционирующих безопасных каналов связи и повысить эффективность функционирования и защищенность обрабатываемых данных в компьютерных системах.

Ключевые слова: потоки данных, маршрутизатор, многоканальные связи.

Запропоновано спеціалізований маршрутизатор для розподілених комп'ютерних систем (РКС), в якому використовуються внутрішні багатоканальні зв'язки. Цей маршрутизатор забезпечує усунення взаємних блокувань маршрутизованих потоків даних під час реалізації різних механізмів маршрутизації, що дозволяє підтримати декілька одночасно функціонуючих безпечних каналів зв'язку і підвищити ефективність функціонування та захищеність оброблюваних даних у комп'ютерних системах.

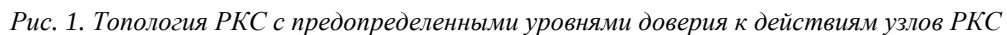
Ключові слова: потоки даних, маршрутизатор, багатоканальні зв'язки.

In this paper we suggest a specialized router for distributed computer systems, which has the internal multichannel links. This router allows to eliminate the deadlocks in the routed data flows for the various routing mechanisms that supports a variety of simultaneous secured communication channels and allow to improve the functioning of the computer systems and security of the processed data there.

Key words: data flow, router, multichannel links.

Введение. Постановка проблемы. Для повышения безопасности передачи данных в распределенных компьютерных системах эффективным является механизм т. н. направленной маршрутизации, который предусматривает передачу данных по определенному каналу связи, сформированному по критерию максимальной безопасности передачи данных по каждому из составляющих подканалов связи между узлами. Критерий безопасности определяется как вероятность реализации угроз безопасности передачи данных по конкретному подканалу. Эта вероятность фактически функционально связана с параметром уровня доверия к действиям узла РКС.

Рассмотрим случай, когда параметр уровня доверия к узлам варьируется в интервале от 0 до 1. Рассмотрим в качестве примера схему топологии распределенной компьютерной системы с предопределенными уровнями доверия к действиям узлов РКС (рис. 1). При передаче данных от узла А к узлу М доступны несколько путей. Так, в том случае, если условием безопасной передачи является то, что уровень доверия к действиям узлов на всем пути следования пакетов не должен снижаться ниже, чем 0,6, то возможна передача данных по более короткому пути 1, если же требованием является то, что параметр уровня доверия не должен снижаться ниже, чем 0,5, то передача данных должна проходить по пути 2, который, с другой стороны, не является наиболее оптимальным с точки зрения расстояния передачи данных. Таким образом, необходима разработка специального механизма направленной маршрутизации данных по заданному пути, что позволит обеспечить передачу данных с учетом критерия уровня доверия к действиям узлов системы, который функционально связан с безопасностью передачи данных по этому пути.

[illegible]

В результате формируется временный канал $A - F - G - L - M$, который на некоторое время перекрывает возможность реализации ряда других каналов связи в данной топологии, например, канала $D - C - G - L - K$ или канала $E - F - G - H$. Фактически, возникает классическая взаимная блокировка передачи данных, что существенно увеличивает время передачи данных по другим каналам. Кроме того, при интенсивном трафике существует вероятность того, что какой-либо пакет окажется заблокированным в буфере, заняв ряд буферов по своему маршруту, что, в свою очередь, вызовет увеличение времени доставки других пакетов.

123

Анализ последних достижений и публикаций. Теория построения маршрутизаторов достаточно развита. Известен целый ряд публикаций в данной области, в частности [1; 2].

Обобщенная структура классического маршрутизатора для распределенных компьютерных систем и коммутируемых сетей представлена на рис. 3.

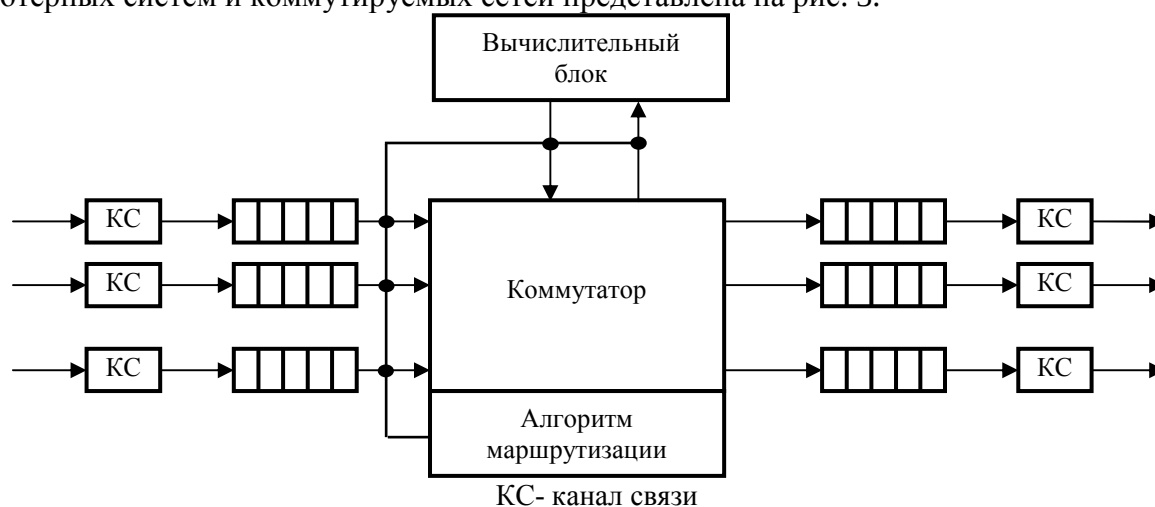


Рис. 3. Обобщенная структурная схема маршрутизатора распределенных компьютерных систем и коммутируемых сетей

Данный маршрутизатор выполняет обработку и передачу сообщений за четыре этапа [3; 4]:

- входная буферизация: сообщение поступает во входной буфер;
- расчет маршрута и формирование пути маршрутизации: на основании адреса приемника определяется выходной порт маршрутизатора;
- передача бит через маршрутизатор: сообщение проходит через маршрутизатор на выходной буфер;
- передача бит по каналу связи (КС): сообщение передается по каналу связи на следующий маршрутизатор.

Следует отметить, что классический маршрутизатор ориентирован на компьютерные системы с одноканальными связями, что вызывает проблему маршрутизации множественных одновременных потоков данных.

Цель статьи. Целью статьи является разработка структурной организации маршрутизатора для компьютерных систем с многоканальными связями, который позволит реализовать множество одновременно функционирующих каналов передачи данных.

Изложение основного материала. Маршрутизатор для распределенных компьютерных систем на основе внутренних многоканальных связей. Для решения рассмотренной выше проблемы взаимного блокирования потоков данных (дейтаграмм) предлагается применить механизм многоканальных связей. Вместо одноканального буфера связи в маршрутизаторе предлагается установить ряд параллельно функционирующих буферов и многоканальную линию связи, которая позволит разбить канал передачи данных на определенное число подканалов, при этом подканалы являются независимыми и передача данных по ним может осуществляться в параллельном режиме, тем самым устраняя задержки, связанные взаимной блокировкой, которая вызвана захватом буфера пакетами или виртуальным каналом.

Схема маршрутизатора с многоканальными линиями связи представлена на рис. 4.

Для мультиплексирования каналов передачи данных применяются временное разделение каналов (ВРК), оно же временное мультиплексирование (TDMA), либо частотное разделение каналов (ЧРК), оно же мультиплексирование с разделением по частоте (FDMA). На входе маршрутизатора находится буферная память для промежуточного

хранения данных и пакетов. Выборка пакетов и данных реализуется в соответствии с алгоритмом маршрутизации.

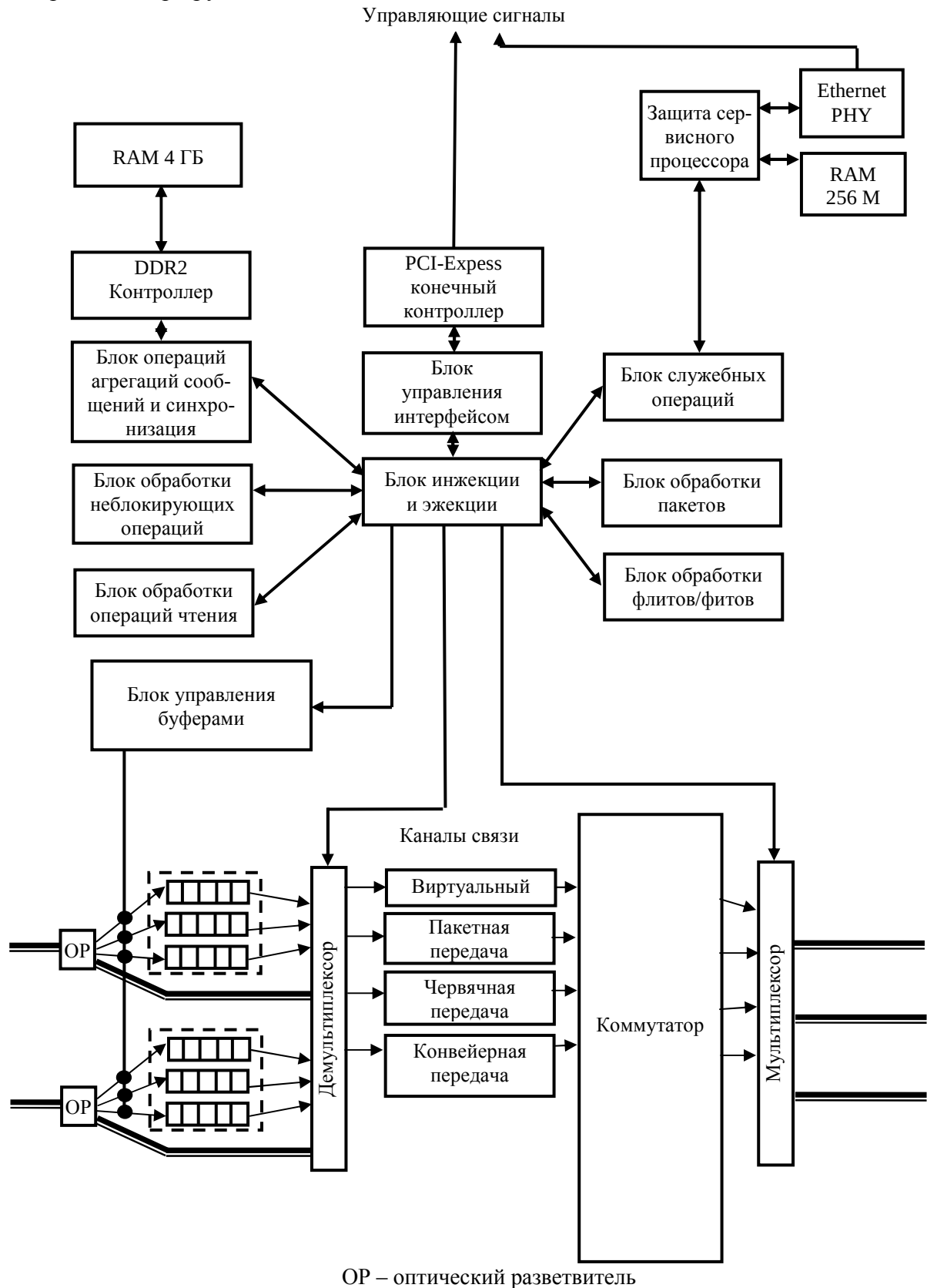


Рис. 4. Структурная схема маршрутизатора с внутренними многоканальными связями

В режиме многоканальных связей происходит разделение канала передачи данных между множеством источников пакетов или флитов. Для поддержки механизма многоканальности применяются специальные протоколы передачи данных с фиксированным или случайным доступом, реализующие схему разделения каналов. Более просты в реализации протоколы фиксированного доступа, которые отличаются бесконфликтностью и минимизацией сбоев в канале связи за счет разделения каналов передачи в статическом или динамическом режиме по времени, частоте, или по комбинации времени и частоты.

В протоколах с частотным разделением (FDMA) вся доступная пропускная способность канала γ подразделяется на K полос со скоростью передачи данных γ/K для одного пользователя. Протокол FDMA прост в реализации, он не требует специального управления или синхронизации при передаче данных, однако в этом случае не всегда эффективно используются ресурсы канала. В протоколах с временным разделением доступа (TDMA) для каждого пакета предварительно выделяются временные интервалы (слоты) и каждый пакет передается строго в пределах слота.

Одним из наиболее эффективных протоколов поддержки многоканальности является протокол ALOHA, который обеспечивает обмен данными между источником и приемником в среде многоканальных связей. Классический вариант протокола ALOHA без использования временных слотов является достаточно сложно управляемым, так как пакеты могут передаваться в любой момент времени и независимо друг от друга.

Модификацией данного протокола является слотированный протокол ALOHA (S-ALOHA), в котором реализовано разделение трафика на слоты и все пакеты посылаются целиком в рамках слота, что позволяет повысить пропускную способность по сравнению с классическим протоколом ALOHA путем сокращения числа конфликтующих пакетов за счет запрета передачи данных в следующем слоте в том случае, если возник конфликт и отсутствует частичное перекрытие конфликтующих пакетов.

Следует отметить, что число одновременно используемых каналов на уровне буфера может быть различным, однако при фиксированном числе каналов упрощается механизм управления многоканальной передачей. Число каналов определяется интенсивностью трафика в распределенной системе, что в свою очередь определяет число требуемых виртуальных каналов передачи данных, которые формируются одновременно. На практике, число каналов фактически должно быть равно числу узлов-источников, которые с высокой интенсивностью генерируют и передают пакеты. Также следует отметить, что и в данной реализации при повышении интенсивности трафика могут возникать проблемы блокировки, но число случаев блокировки будет существенно снижено.

Таким образом, применение предложенного механизма многоканальной буферизации трафика в процессе коммутации каналов позволяет разрешить проблему взаимной блокировки виртуальных каналов и блокировки пакетами буферов, что повышает эффективность процедуры маршрутизации в распределенных компьютерных системах. В результате, появляется возможность реализации множества одновременно функционирующих виртуальных безопасных каналов для передачи критичных данных, а также открытых каналов связи для передачи открытой информации без их взаимной блокировки, что повышает эффективность функционирования и защищенность обработки данных в распределенных компьютерных системах.

Выводы. Для решения проблемы взаимного блокирования потоков данных (дейтаграмм) предложено применение механизма многоканальных связей, при этом вместо одноканального буфера связи в маршрутизаторе предложено установить ряд параллельно функционирующих буферов и многоканальную линию связи, которая позволит разбить канал передачи данных на определенное число подканалов. Подканалы являются независимыми, и передача данных по ним осуществляется в параллельном режиме, тем самым устраняя задержки, связанные взаимной блокировкой, которая вызвана

захватом буфера пакетами или виртуальным каналом. В результате реализуется множество одновременно функционирующих виртуальных безопасных каналов для передачи критичных данных, а также открытых каналов связи для передачи открытой информации без их взаимной блокировки, что повышает эффективность функционирования и защищенность обработки данных в распределенных компьютерных системах.

Список использованных источников

1. Nelakuditi S., Lee S., Yu Y., Zhang Z.-L., and Chuah C.-N. Fast local rerouting for handling transient link failures,” IEEE/ACM Trans. Netw. 15(2), pp. 359-372.
2. Labovitz C., Ahuja A., Bose A., and Jahanian F. Delayed internet routing convergence. IEEE/ACM Trans. Networking, 9(3), pp. 293-306.
3. Yashpaul Singh E.R., and Swarup A. Analysis of Equal cost Adaptive Routing Algorithms using Connection-Oriented and Connectionless Protocols. World Academy of Science, Engineering and Technology 51 2009, pp.299-302.
4. Hansen A. F., Cicic T., Gjessing S., Kvalbein A., and Lysne O. Multiple Routing Configurations For Fast IP Network Recovery, IEEE/ACM Trans. Netw. 17 (2), pp. 473-486.

УДК 681.518.5

Є. В. Нікітенко, канд. фіз.-мат. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ПРОГРАМНА СИСТЕМА ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ У СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЯХ

Е. В. Никитенко, канд. физ.-мат. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Yevhen Nikitenko, PhD in Physics and Mathematical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

SOFTWARE SYSTEM OF TROUBLESHOOTING IN COMPLEX ELECTRONIC DEVICES

Представлено архітектуру модульної системи, що реалізує покращений метод пошуку несправностей. Розглянуто роль кожного модуля у системі, представлена діаграма класів системи.

Ключові слова: несправність, функціональний блок, радіоелектронні пристрої.

Представлена архитектура модульной системы, реализующей улучшенный метод поиска неисправностей. Рассмотрена роль каждого модуля в системе, представлена диаграмма классов системы.

Ключевые слова: неисправность, функциональный блок, радиоэлектронные устройства.

The architecture of modular system implementing an improved method of troubleshooting was presented in the article. The role of each module in the system is examined, the class diagram of the system is represented.

Key words: fault, functional block, radioelectronic devices.

Постановка проблеми. Несправність радіоелектронних пристроїв проявляється у вигляді спотворення вихідної інформації або її відсутності за наявності вхідного сигналу. Джерелом несправності можуть бути один або декілька елементів, а також зовнішні дії і чинники – температура, вологість і т. ін. Кожен функціональний елемент пристрою впливає на формування вихідних параметрів. Залежність між станами елементів і вихідними параметрами є неоднозначною. Більшість елементів впливає відразу на декілька параметрів, а самі параметри можуть залежати від багатьох елементів [1].

Роботу радіоелектронних пристроїв можна оцінювати різними показниками:

- фізичним станом елементів (оцінюється зовнішнім оглядом);
- якістю інформації, що видається;
- формою і значенням напружень у різних точках (оцінюються за показниками вимірювальних приладів).

Починати пошук несправностей необхідно з виявлення істотних протиріч у цих показниках. На визначенні цих протиріч засновані всі методи пошуку несправностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Система, що реалізує метод пошуку несправностей у складних електронних пристроях з врахуванням зовнішніх факторів, може бути поділена на взаємодіючі між собою модулі, що реалізують необхідні дії [2]. Така схема взаємодії модулів представлена на рис. 1.

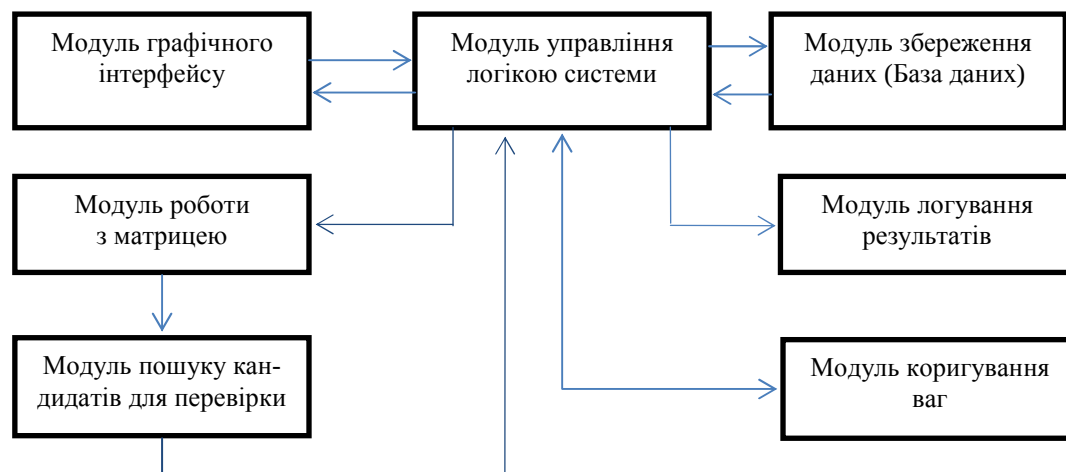


Рис. 1. Схема взаємодії модулів системи, що реалізує метод пошуку несправностей з врахуванням зовнішніх факторів

Модуль графічного інтерфейсу. Модуль графічного інтерфейсу, що зображений на рис. 1, призначений для взаємодії системи з користувачем через введення і відображення інформації. Приклад графічного інтерфейсу представлений на рис. 2.

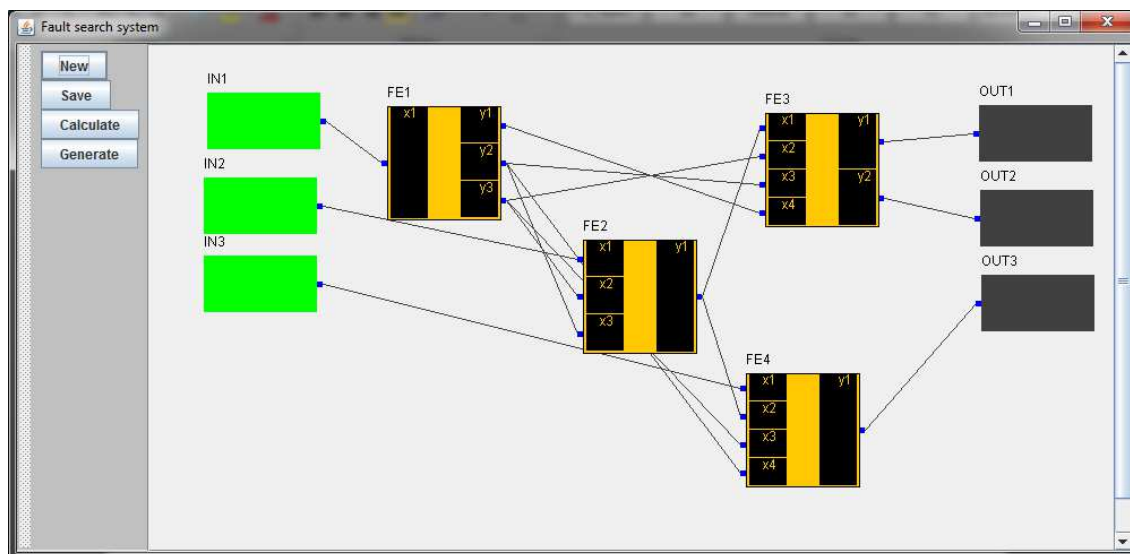


Рис. 2. Приклад графічного інтерфейсу системи, що реалізує метод

Інформація, яку необхідно отримати від користувача на першому етапі, являє собою перелік функціональних елементів, з яких складається пристрій, зв'язки між блоками, а також зв'язки всередині функціональних блоків.

Слід зауважити, що у системі представлено три типи блоків, за допомогою яких можна описати структуру пристрою, а саме:

- 1) TYPICAL – блок, який представляє сам функціональний елемент, він може мати кінцеве число входів і виходів.
- 2) IN – блок, який вказує на сигнальні входи електронного пристрою.
- 3) OUT – блок, який позначає виходи пристрою, що спостерігаються.

Кожному блоку можна задати ім'я. Інтерфейс побудований таким чином, що користувач може переміщати елементи всередині робочої області та розташовувати їх так, як йому зручно.

На наступному кроці від користувача необхідно отримати інформацію про зовнішні чинники, а саме: мінімальне, максимальне і середнє значення для кожного зовнішнього фактора (рис. 3).

FE1 y1

Temperature

From 1 To 3 Usage 2

Humidity

From 1 To 3 Usage 2

Vibration

From 1 To 3 Usage 2

FE3 y2

Temperature

From 1 To 3 Usage 2

Humidity

From 1 To 3 Usage 2

Vibration

From 1 To 3 Usage 2

Prev < Next >

Рис. 3. Приклад вікна введення даних про зовнішні чинники

Ми отримуємо дані про зовнішні чинники не для всіх виводів пристрою, а тільки для тих, які були визначені алгоритмом як потенційно несправні.

Модуль роботи з матрицею. Модуль роботи з матрицею виконує операції, що пов'язані з побудовою і перетвореннями матриці. Він отримує від модуля управління логікою граф у вигляді з'єднаних між собою контактів досліджуваного пристрою і перетворює його в двовимірну матрицю так, як цього вимагає алгоритм для подальшої роботи. Ця операція необхідна, оскільки при отриманні спочатку даних про структуру пристрою від користувача потім набагато простіше будувати граф, ніж відразу матрицю, тому що при будь-якій зміні у структурі виникала б необхідність повного перерахунку матриці, а це досить ресурсномісткий процес. Якщо ж щось змінюється у структурі електронного пристрою, то необхідно внести зміни лише у вузли, що є набагато простіше (рис. 4).

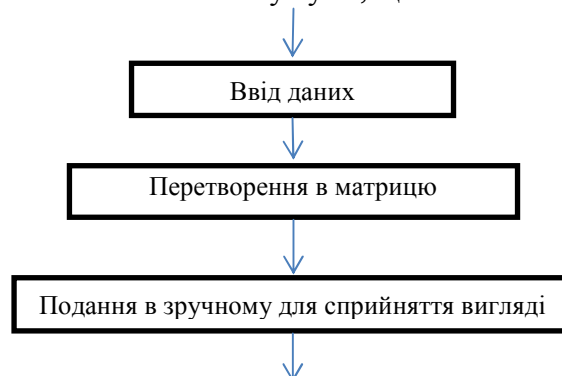


Рис. 4. Модуль роботи з матрицею

Приклад матриці у зручному для сприйняття вигляді представлений на рис. 5. Оскільки матриця досить велика, то на рис. 5 представлена тільки її частина.

	IN1-y1	IN2-y1	OUT1-x1	IN3-y1	FE1-x1	FE1-y1	FE1-y2
IN1-y1	0	0	0	0	1	0	0
IN2-y1	0	0	0	0	0	0	0
OUT1-x1	0	0	0	0	0	0	0
IN3-y1	0	0	0	0	0	0	0
FE1-x1	0	0	0	0	0	1	1
FE1-y1	0	0	0	0	0	0	0
FE1-y2	0	0	0	0	0	0	0
FE1-y3	0	0	0	0	0	0	0
FE2-x1	0	0	0	0	0	0	0
FE2-x2	0	0	0	0	0	0	0
FE2-x3	0	0	0	0	0	0	0
FE2-y1	0	0	0	0	0	0	0
FE3-x1	0	0	0	0	0	0	0
FE3-x2	0	0	0	0	0	0	0
FE3-x3	0	0	0	0	0	0	0
FE3-x4	0	0	0	0	0	0	0
FE3-y1	0	0	1	0	0	0	0
FE3-y2	0	0	0	0	0	0	0
FE4-x1	0	0	0	0	0	0	0
FE4-x2	0	0	0	0	0	0	0
FE4-x3	0	0	0	0	0	0	0
FE4-x4	0	0	0	0	0	0	0
FE4-y1	0	0	0	0	0	0	0
OUT2-x1	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 5. Приклад подання графа зв'язків у вигляді квадратної матриці

Ще одним завданням цього модуля є підрахунок ваг для всіх виводів пристрою з використанням базового алгоритму. Визначення ваг відбувається по квадратній матриці.

Модуль пошуку кандидатів на перевірку. Цей модуль проводить аналіз всіх можливих шляхів передачі сигналів у пристрої і обчислює з усієї безлічі тільки ті, які слід перевірити при визначенні несправності на одному з виходів пристрою.

Оскільки у базовому алгоритмі зазначено тільки формальний опис цього етапу без варіантів його реалізації, то (як найбільш ефективний) був обраний метод рекурсивного обходу графа [3] (рис. 6).

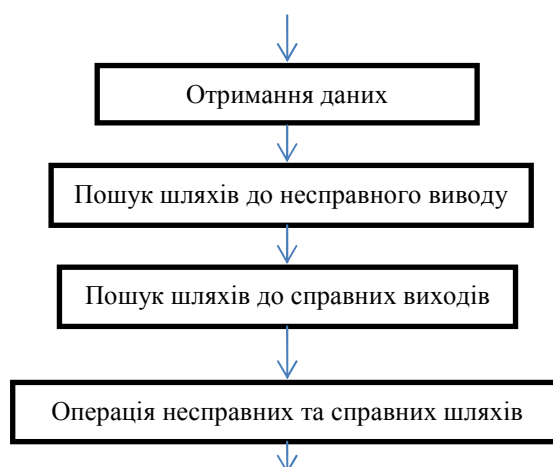


Рис. 6. Модуль пошуку кандидатів на перевірку

Модуль управління логікою системи. Центральним модулем є модуль управління логікою системи. Розглянемо основні операції, які виконує цей модуль. Першим його завданням є отримання даних від модуля графічного інтерфейсу і побудова у пам'яті графа зі зв'язками. Після того, як граф побудований і визначені необхідні дані, він зберігається в базі даних (БД) для того, щоб можна було відновити його в будь-який момент часу. Як сховище даних була використана база даних MongoDB [4].

Вибір зупинений саме на цій БД, тому що вона дуже гнучка і дозволяє зберігати різноманітні дані в одній колекції (аналог таблиці в MySQL). Якщо в майбутньому виникає необхідність у додаванні нових типів вузлів, то це не завдасть великих труднощів.

Наступним кроком роботи модуля є передача побудованого графа модулю роботи з матрицею. Всі необхідні дії, що представляють інтерес, відображаються у вікні логів системи.

Отримавши підраховані на основі графа потенційно несправні виводи, модуль передає дані на графічний інтерфейс для відображення результатів.

Модуль графічного інтерфейсу повертає дані про зовнішні чинники для конкретних виводів, після чого модуль управління логікою пропускає цю інформацію через модуль коригування ваг і повертає остаточний результат алгоритму на графічний інтерфейс для відображення його користувачеві.

Діаграма класів системи, що реалізує алгоритм. На рис. 7 представлена діаграма основних класів системи, що реалізує розроблений алгоритм.

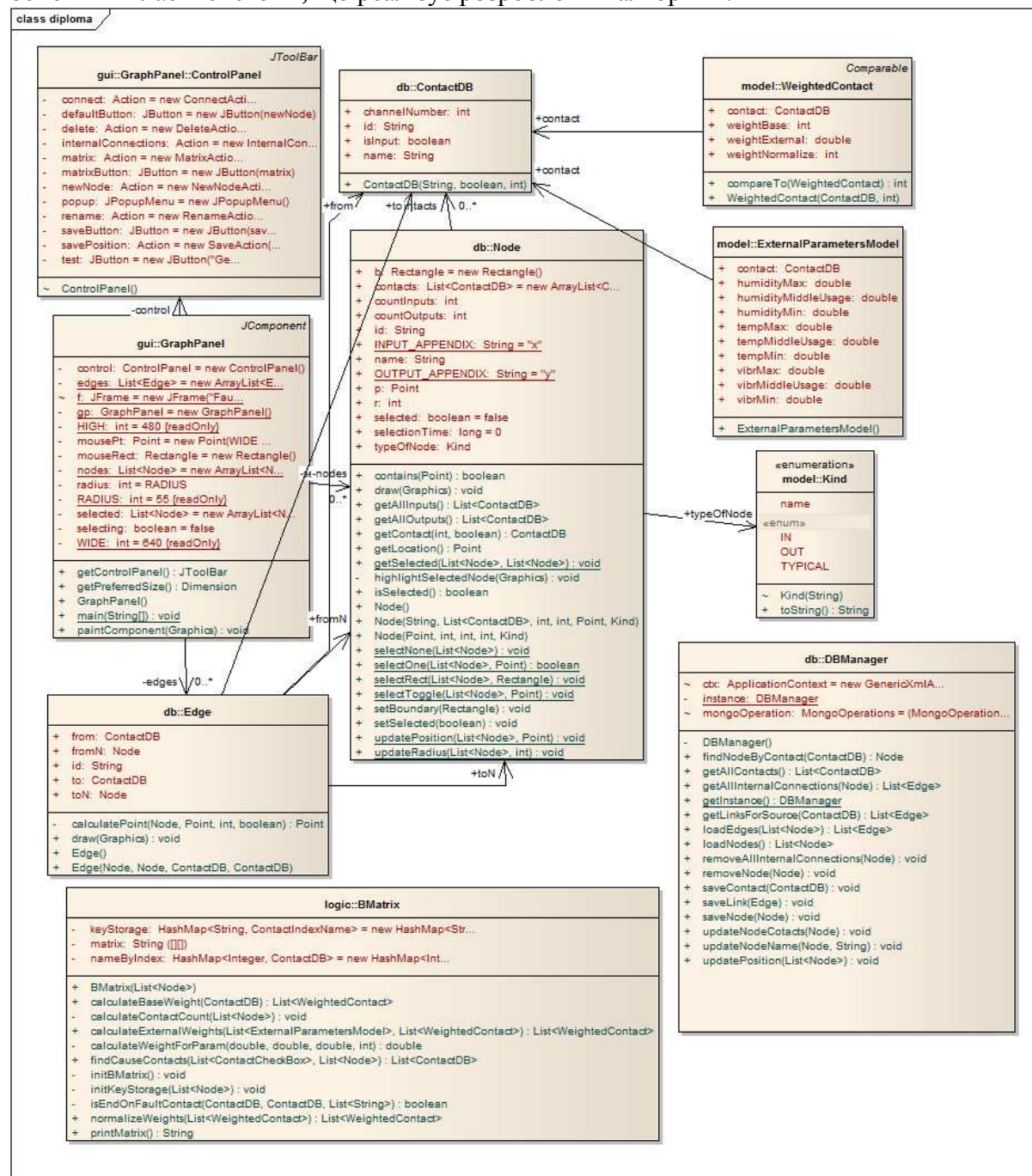


Рис. 7. Діаграма класів системи

Клас GraphPanel є основним і виконує роль модуля управління логікою системи. Його основні завдання – це оброблення подій, що прийшли від графічного інтерфейсу, і виконання відповідних дій, які зумовлені для конкретних подій.

Клас `ControlPanel` – це панель контролю на графічному інтерфейсі. Користувач його бачить, як панель з кнопками. На ньому розташовані кнопки:

- 1) `New` – створення нового блока у робочій області;
- 2) `Save` – збереження стану системи в БД;
- 3) `Calculate` – викликає ряд послідовних діалогів для введення даних від користувача;
- 4) `Generate` – генерація випадкового графа за заданими параметрами.

Клас `DBManager` – це клас взаємодії з базою даних, він надає операції зчитування, запису і модифікації елементів системи.

Клас `VMatrix` – це клас роботи з матрицею, а саме перетворення графа в матричний вигляд і підрахунок ваг згідно з базовим методом.

У базі граф представляється як композиція з об'єктів трьох класів: `Node`, `ContactDB`, `Edge`. Клас `Node` – це функціональний елемент, який зберігає дані про вузол і його контакти. Під контактами розуміємо виводи функціонального елемента, які представлені класом `ContactDB`. Саме між контактами і будуються всі причинно-наслідкові зв'язки у пристрої. Зв'язки представлені у класі `Edge`.

`Kind` – це перерахування будь-яких типів елементів системи: `TYPICAL`, `IN`, `OUT`.

Висновки. У результаті проведеної роботи розроблено алгоритм і програмне забезпечення для пошуку несправностей у складних пристроях з урахуванням зовнішніх факторів, що дозволяє визначати несправний функціональний блок у несправному електронному пристрої. Представлена архітектура модульної системи, що реалізує покращений метод пошуку несправностей. Розглянуто роль кожного модуля у системі та представлена діаграма класів системи.

Список використаних джерел

1. *Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры* : учебник для вузов. – М. : Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 528 с.
2. *Об одном варианте решения технического диагностирования радиоэлектронных средств* / А. В. Дубов, А. П. Капранов, В. В. Сускин, В. Ф. Шевченко // *Управление большими системами: надежность и диагностика средств и систем управления*. – 2010. – № 31. – С. 363-377.
3. *Лекции по теории графов* / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич. – Изд. 2-е, испр. – М. : УРСС, 2009. – 392 с.
4. *Тим Хоукінс, Илько Пладж, Питер Мембри. The Definitive Guide to MongoDB: The NoSQL Database for Cloud and Desktop Computing*. – М. : Apress, 2010. – С. 350.

УДК 681.3.06

А.І. Роговенко, ст. викладач**С.О. Сенько**, магістрант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ВИХІДНИХ КОДІВ НА МОВІ ОПИСУ АПАРАТУРИ

А.И. Роговенко, ст. преподаватель**С.А. Сенько**, магистрант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ИСХОДНЫХ КОДОВ НА ЯЗЫКЕ ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ

Andrii Rohovenko, senior teacher**Serhii Sienko**, Master's Degree student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

FEATURES OF USING GENERATOR OF SOURCE CODES ON HARDWARE DESCRIPTION LANGUAGE

Проведено аналіз сучасних методів та підходів до автоматичної генерації вихідних кодів, виділено обмеження та особливості їх використання для мов опису апаратури. Акцентовано увагу на методах, які у разі їх використання нададуть змогу зменшити час розроблення пристрою на основі ПЛІС, при відповідній надійності та якості вихідного коду на мові опису апаратури.

Ключові слова: генерація, вихідний код, мови опису апаратури, VHDL, ПЛІС.

Проведен анализ современных методов и подходов к автоматической генерации исходных кодов, выделены ограничения и особенности их использования для языков описания аппаратуры. Акцентировано внимание на методах, которые при их использовании дадут возможность уменьшить время разработки устройства на основе ПЛИС, при соответствующей надежности и качества исходного кода на языке описания аппаратуры.

Ключевые слова: генерация, исходный код, языки описания аппаратуры, VHDL, ПЛИС

The article analyzes modern methods and approaches to automatically generate source code are highlighted limitations and peculiarities of their use for hardware description languages. Attention is focused on methods which when used, will help reduce development time of the device based PLD, with appropriate reliability and quality of source code in hardware description language.

Key words: generation, source code, hardware description languages, VHDL, PLD.

Постановка проблеми. Останнім часом вбудовані системи на основі ПЛІС набули значних структурних ускладнень. Це характеризується, по-перше, ускладненням периферії, по-друге, підвищеними вимогами щодо функціональних можливостей та швидкодії. Ці особливості обумовлюють підвищення складності створення програм, що призводить до удорожчання процесу їх написання, зниження їх надійності та відмовостійкості, збільшення кількості дефектів та помилок.

Використання ручного налагодження складної периферії, в неадаптованих до сприймання людиною форматах, ускладнює процес відлагодження програми, її діагностику та пошук помилок. Використання застарілих методів та підходів до розроблення програм не може забезпечити їх належну якість. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є використання генераторів вихідних кодів. Є декілька підходів до реалізації генераторів вихідних кодів, але у разі їх використання для генерації кодів на мові опису апаратури виникають специфічні особливості, через які виникає необхідність розглянути питання генерації кодів з додатковими обмеженнями. Ці обмеження є базовими для вибору відповідного методу генерації вихідних кодів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу підходів до створення програм визначено певні недоліки в ручному створенні програм для вбудованих систем. У табл. 1 зображена статистична інформація про залежність кількості помилок від розміру проекту.

Як видно з табл. 1, зростання кількості помилок безпосередньо залежить від розміру проекту. Саме тому розроблення великих проектів вимагає значних витрат часу на про-

ектування структури вихідного коду. Детальність спроектованої структури є одним з вирішальних критеріїв, які впливають на якість проекту загалом і зменшення кількості помилок. При великих розмірах проекту зрозуміти функціональне призначення чи алгоритми функціонування на основі написаного вручну коду є дуже складною процедурою, яка вимагає високої кваліфікації фахівця, який читає код.

Таблиця 1

Залежність кількості помилок у коді від розміру проекту

Розмір проекту (кількість рядків коду)	Типова густина помилок
Менше 2К	0 – 25 помилок на 1000 рядків коду
2К-16К	0 – 40 помилок на 1000 рядків коду
16К-64К	0,5 – 55 помилок на 1000 рядків коду
64К-512К	2 – 70 помилок на 1000 рядків коду
512К – і більше	4 – 100 помилок на 1000 рядків коду

Вважається, що вирішенням цих проблем може бути використання високорівневих графічних редакторів проекту, або автоматизованих генераторів коду, які дозволять автоматизувати процес проектування, створювати наочні проекти, які буде легко супроводжувати.

Мета статті. Метою даної статті є проведення аналізу методів та підходів до автоматизованої генерації коду, аналіз їх переваг та недоліків, визначення рівня їх придатності до використання у генераторах вихідних кодів на мові опису апаратури, а також формування рекомендацій щодо доцільності їх подальшого використання під час проектування генератора коду компонентів обчислювальної системи з прискореним виконанням операцій у базисі ПЛІС.

Виклад основного матеріалу. Аналізуючи генератори вихідного коду на мовах опису апаратури, треба враховувати їх особливості. Здебільшого мови опису апаратури працюють не з логічними даними чи об'єктами, а з сигналами, що спричиняє додаткові помилки під час оброблення даних. Більшість лексем у цих мовах описують не алгоритм оброблення даних, а саме роботу з рівнями на виводах мікросхем чи перемикання станів тригерів та регістрів. Ці особливості змушують програміста не тільки знати алгоритм оброблення даних, але й мати знання та навички у схемотехніці. Таким чином, основними критеріями під час вибору методу генерації коду на мовах опису апаратури є можливість винесення рівнів абстракцій та виділення логічних сутностей, можливість вести роботу на рівні алгоритмів, а також можливість автоматизувати контроль за обробленням даних та поведінкою сутностей у системі.

Метод статичної генерації коду. Розглянемо статичний метод генерації коду. Цей метод генерації коду представлений у більшості сучасних САПР. Цей метод генерації коду в більшості випадків не генерує коду, який виконує алгоритми, а лише «скелет», в який у подальшому буде вписаний код, що безпосередньо виконує необхідні функції. Генерація коду виконується за його статичним описом. Під статичним описом розуміють незмінювані у процесі функціонування програми її характеристики чи параметри. Такими характеристиками можуть бути назви класів, сигнатури методів, розрядність шини, кількість входів або виходів мікросхеми і т. ін.

Особливістю статичних генераторів коду є те, що для генерації коду їм достатньо однієї ітерації (одного проходу по вихідному опису). Загальну схему їх роботи представлено на схемі, яка представлена на рис. 1.

Як видно з рис. 1, вихідний опис передається в аналізатор коду, де він розбивається на частини, які являють собою лексеми мови вихідного опису. Для кожної лексеми є правило, за яким вона однозначно передвоюється в результуючу форму. Правил для перетворення лексеми може бути декілька. У цьому випадку аналізатор вибирає прави-

ло, виходячи з його налаштувань, які задаються користувачем, тобто користувач має вказати на те, яке правило буде використано, бо однією з особливостей статичних генераторів є те, що вони не приймають рішень самостійно, а повністю керуються користувачем. Можливість вибрати між декількома правилами дозволяє керувати характеристиками результуючого коду. Прикладом використання декількох правил є оптимізація за розміром або за швидкістю роботи. В цьому випадку складається набір правил, які створюють швидкий код, і інший набір правил, які створюють код малий за розміром, та надається користувачу можливість перемикатися між цими правилами.



Рис. 1. Загальна схема статичної генерації

Такий тип генераторів широко використовується як допоміжний засіб під час розроблення програм на мовах опису апаратури. Прикладом використання цього підходу для генерації коду на мовах опису апаратури є САПР Quartus, де ми маємо можливість вказати кількість входів та виходів мікросхем, а також у графічному редакторі розташувати їх та з'єднати провідниками. САПР, керуючись створеною схемою, згенерує шаблон на мові опису апаратури, де розробнику потрібно буде вписати алгоритм роботи кожної мікросхеми. Це дозволяє наочно згрупувати код за блоками та зосередитись лише на алгоритмі роботи, бо позбавить від необхідності писати декларації входів та виходів мікросхем.

Перевагами статичних генераторів коду є простота їх реалізації, бо кожній лексемі на момент генерації відповідає одне вибране правило, а також передбачуваність результату та відносна швидкість роботи. Цей метод дозволяє виділити додаткові рівні абстракції та логічно розділити проект на сутності, що є дуже важливим, але він не відслідковує роботу з даними, що є одним з ключових параметрів під час вибору методу генерації кодів на мовах опису апаратури. Ще одним недоліком є те, що цей тип генераторів не аналізує поведінку об'єктів у програмі, і як наслідок контроль за виявленням помилок у поведінці програми покладається на плечі програміста, що є небажаним при генерації коду на мовах опису апаратури.

Метод динамічної генерації коду. Метод динамічної генерації коду передбачає використання не тільки статичної інформації, а й інформації про поведінку програми та її об'єктів, її можливих станах, про можливі переходи із стану в стан, а також про дані, які вона буде обробляти, що є важливим для генерації кодів на мовах опису апаратури.

Найбільш зручним та простим описом для такого типу генераторів є кінцевий автомат. Цей метод опису наочно відображає роботу пристрою, оскільки багато мікросхем є реалізаціями цифрового автомату. В автоматі вказують стан об'єктів системи, причини, через які вони переходять з одного стану в інший, а також дії, які вони при цьому виконують. Опис кінцевого автомату можна здійснювати на спеціальних метамовах, або графічно у вигляді графу.

Також зручним та наочним способом створення вихідного опису є графічний опис роботи програми у вигляді алгоритму чи діаграми поведінки. В таких випадках з деякого набору команд чи логічних блоків складають алгоритм чи модель поведінки, вказуючи необхідні параметри блоків, наприклад, назви змінних.

Для проведення аналізу, верифікації та процесу генерації графічний опис, чи кінцевий автомат переводять в опис на метамові. Метамова може бути як мовою програму-

вання, так і деяким, найчастіше текстовим, описом, який можливо легко зчитати. Прикладом мета опису є опис за допомогою XML.

Таким чином, загальну схему динамічної генерації коду представимо в такому вигляді (рис. 2).

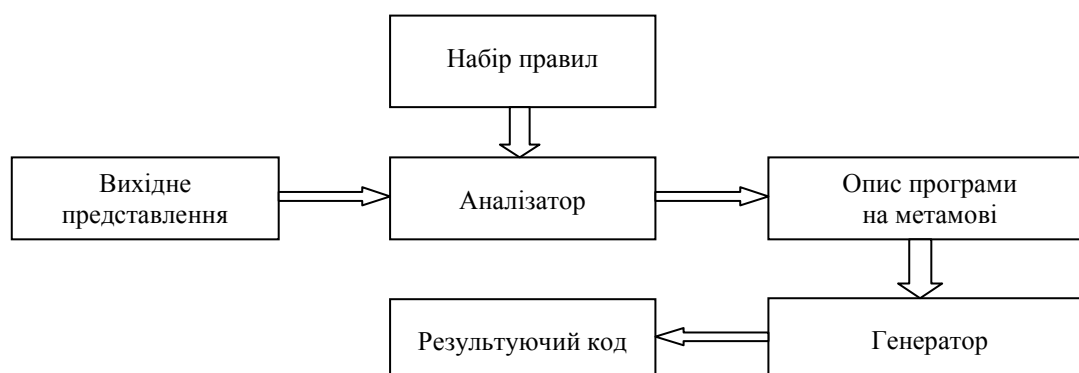


Рис. 2. Загальна схема динамічної генерації коду

Як видно з рис. 2, схема перетворення вихідного представлення в опис на метамові є абсолютно аналогічним схемі генерації коду статичним генератором коду. Тобто, які видно на рис. 2, із вихідного представлення шляхом статичної генерації отримуємо на метамові опис алгоритму, цифрового автомату, діаграми поведінки тощо. Метаопис аналізується генератором коду, на виході якого ми отримуємо вихідний код програми.

Динамічні генератори дуже часто використовують під час створення описів апаратури. Як приклад наведемо САПР Quartus, де є можливість у графічному редакторі створити цифровий автомат. Також у цьому САПР є редактор, в якому є можливість вказати, які вихідні сигнали повинні бути встановлені на задані вхідні сигнали. Обидва редактори генерують як результат опис на мові опису апаратури.

Цей метод дозволяє створювати опис у наочному форматі, що є ключовим фактором для успішної підтримки та обслуговування пристрою. Опис у форматі цифрового автомату дозволяє представити роботу системи у форматі, який є одночасно простим та наочним, а також близьким до дійсних процесів, що відбуваються у ній. Опис у вигляді алгоритмів чи діаграм поведінки дозволяє зосередитися на алгоритмах оброблення даних та позбавити необхідності програміста працювати з сигналами. Перевагою динамічних генераторів є те, що вони враховують потоки даних, з якими працює пристрій чи програма, а також поведінку об'єктів, що дозволяє отримати найбільш оптимальний код, який є ключовим для генерації кодів на мовах опису апаратури. Незважаючи на складність в їх реалізації, порівняно великий час генерації результату, метод динамічної генерації є найбільш придатним до генерації кодів на мовах опису апаратури.

Генератор на основі шаблонів та підстановок. Цей метод передбачає, що розробник буде створювати шаблон коду у спеціальному форматі. Також він повинен підготувати дані, або створити програму, яка буде отримувати дані та зводити їх до спеціального формату.

Набір шаблонів може бути як статичним, так і динамічним. При статичному шаблоні підстановка виконується під час генерації коду. Як приклад наведемо templates в мові java. Під час використання templates описується алгоритм оброблення даних без вказування типів даних. Типи даних вказуються пізніше і впливають на поведінку описаного алгоритму. Наприклад операція порівняння буде проводитися по-різному для числових і для строкових типів. Такий підхід є порівняно простим, але дуже обмеженим у використанні.

Під час використання динамічних шаблонів дані, що підставляються в нього, безпосередньо впливають на результуючий код. Гарним прикладом цього типу генерації є jsp

web-сторінка. В цьому прикладі HTML код результуючої сторінки буде залежати від даних, які вона буде відображати. Наприклад, залежно від даних буде змінюватись кількість рядків у табличках, чи будуть приховуватися, чи навпаки відображатися поля залежно від їх значення. Загальна схема генерації відображена на рис. 3.

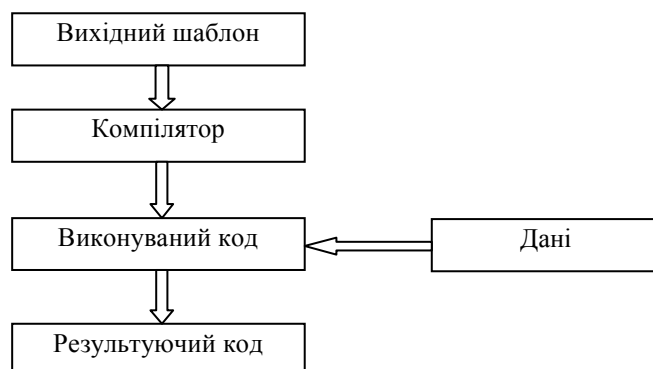


Рис. 3. Загальна схема генерації коду по методу динамічних шаблонів

Як видно на рис. 3, вихідний шаблон компілюється у виконуваний код. Дані обробляються виконуваним кодом, у результаті роботи якого ми отримуємо результуючий код. Для прикладу, наведеному вище, виконуваним кодом буде java bytecode, який генерує HTML код сторінки, який і є результуючим кодом.

Крім даних, у шаблони може підставлятися інший код. Прикладом таких підстановок є jsp web-сторінка, в яку, крім даних, підставляється JavaScript код, який буде виконуватися браузером. Загальна схема генерації наведена на рис. 4.

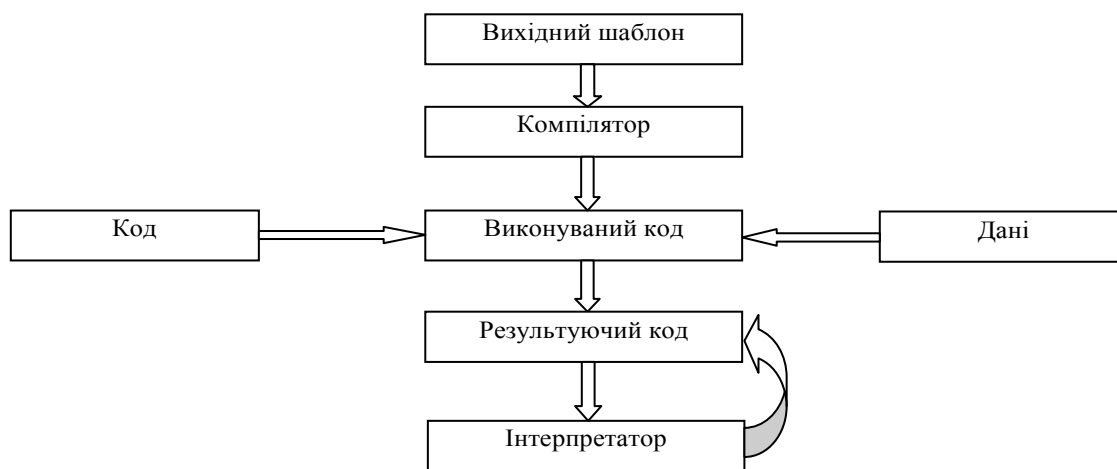


Рис. 4. Схема генерації коду по методу динамічних шаблонів з підстановкою коду

На відміну від попереднього способу використання шаблонів, у цьому методі ми отримуємо результуючий код, який може змінюватися у процесі роботи. На рис. 4 це відображено зворотним зв'язком від результуючого коду до інтерпретатора. Тобто код, який ми підставляємо у шаблон у процесі генерації, може змінювати код заповненого даними шаблону в процесі своєї роботи.

Важливими перевагами цього методу з огляду на генерацію кодів на мовах опису апаратури є те, що вони дозволяють виділяти рівні абстракції та сутності, що є необхідним для побудови моделей системи. Цей метод спроможний проконтролювати коректність роботи з даними, але не може виявити помилок у поведінці об'єктів, що є неприйнятним для генерації кодів на мовах опису апаратури, за яким будуть генеруватися реальні пристрої. Тому цей метод у сфері вбудованих систем використовується здебільшого для генерації моделей пристрою, та не набув розповсюдження для генерації описів, з яких будуть генеруватися реальні пристрої.

Висновки. Таким чином результати аналізу представимо у вигляді табл. 2. Як видно за табл. 2, статичний метод генерації кодів виграє у швидкості, оскільки час генерації лінійно залежить від кількості лексем вихідного опису. Він простий у реалізації, його використовують під час проектування вбудованих систем та генерації кодів на мовах опису апаратури для автоматизації однотипних операцій, але його великим недоліком є те, що він покладає більшість на плечі програміста.

Таблиця 2

Зведена таблиця характеристик методів генерації кодів

Метод генерації	Статичний	Метод шаблонів	Динамічний
Простота реалізації	Простий	Простий	Складний
Чи враховує потоки даних?	Не враховує	Враховує	Враховує
Чи враховує поведінку об'єктів?	Не враховує	Не враховує	Враховує
Виявлення синтаксичних помилок	Виявляє	Виявляє	Виявляє
Виявлення помилок даних	Не виявляє	Виявляє	Виявляє
Виявлення помилок у логіці виконання	Не виявляє	Не виявляє	Виявляє
Швидкість генерації	$t = k \cdot N$ t – час генерації; k – вартість однієї заміни; N – кількість підстановок	$t = p \cdot D \cdot N$ t – час генерації; p – вартість однієї заміни; N – кількість підстановок; D – кількість записів даних	$t = s^N$ t – час генерації; s – вартість однієї заміни; N – кількість підстановок

Швидкість роботи методу шаблонів важко оцінити, адже вона залежить від кількості даних, але здебільшого він програє статистичному методу генерації. Метод шаблонів відслідковує потоки даних, а це дозволяє знаходити помилки, пов'язані з цим, а також генерувати більш оптимальний код. Він досить простий у реалізації, але використання для генерації коду на мовах опису апаратури обмежується побудовами математичних моделей пристроїв.

Швидкість динамічного методу генерації експоненціально залежить від кількості лексем у метаописі, це призводить до досить значного часу генерації при великих розмірах проекту. Цей метод відслідковує потоки даних і поведінку об'єктів, а також виявляє помилки, що пов'язані з цим, бере на себе вирішення багатьох проблем та знімає з програміста необхідність замислюватися над низькорівневими процесами, а дозволяє зосередитись лише на алгоритмі.

На рис. 5 наведено порівняльний графік швидкості генерації коду від розміру проекту для усіх трьох методів генерації.

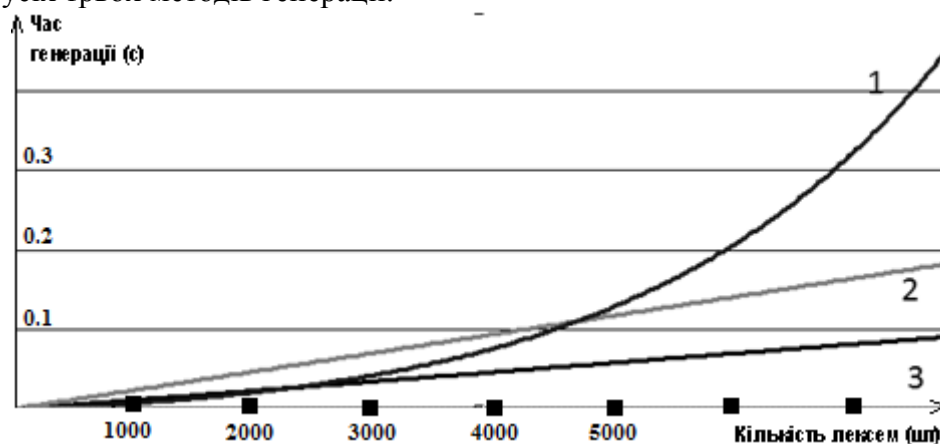


Рис. 5. Порівняльний графік швидкості генерації коду від складності проекту

На рис. 5 під номером 1 зображено динамічний метод генерації, під номером 2 метод шаблонів, під номером 3 статичний метод генерації. З рис. 5 видно, що динамічний метод генерації значно програє по швидкості іншим методам при великих розмірах проекту, але це спричинено тим, що методу необхідно виконувати додаткові проходи по коду та виконувати над ним складні аналізи для виявлення додаткових помилок. Незважаючи на більший час генерації коду, результуючий код є більш швидким та надійним, як наслідок ми зекономимо час на пошук та виправлення помилок, а також отримаємо кращий час виконання.

Як результат, цей метод найбільш прийнятний для генерації вихідних кодів на мовах опису апаратури, тому він взятий за базовий для реалізації генератору коду компонентів обчислювальної системи в базисі ПЛІС.

Список використаних джерел

1. Новиков Ф. А. Визуальное конструирование программ / Ф. А. Новиков // Информационно-управляющие системы. – 2005. – № 6. – С. 9-22.
2. Селлз К. Современные способы автоматизации повторяющихся задач программирования / К. Селлз // MSDN Magazine. – 2002. – № 6.
3. Шалыто А. А. SWITCH-технология – автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем / А. А. Шалыто, Н. И. Туккель // Программирование. – 2001. – № 5. – С. 45-62.

УДК 621.397

К.Н. Григорьев, аспирант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МЕТОДЫ НАДЕЖНОЙ ДОСТАВКИ ВИДЕОСИГНАЛОВ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

К.М. Григор'єв, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МЕТОДИ НАДІЙНОЇ ДОСТАВКИ ВИДЕОСИГНАЛІВ ВИСОКОЇ ЯКОСТІ

Konstantin Grigoryev, PhD student

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

METHODS OF GUARANTEED DELIVERY OF HIGH QUALITY VIDEO SIGNALS

На пути применения техники качественного видеопроизводства стоят ограничения по оперативной передаче сигнала в ТВ студии и Интернет медиа-сервера. Очевидной альтернативой системе спутниковой передачи видеосигнала является Интернет, однако недостаточная надежность параметров каналов Интернет вынуждает искать способы в области оптимизации протоколов передачи данных и алгоритмов кодирования видеосигналов. В ситуациях с «прямым эфиром» надежность системы производства и доставки видеосигнала является определяющей. Именно поэтому при использовании каналов Интернет важной является задача определения граничных параметров кодирования видеосигнала, а также выбор протоколов передачи данных и их параметров в условиях неопределенности и варьированности параметров каналов передачи данных.

Ключевые слова: доставка видео, надежная передача потоковых данных, видео через Интернет, сетевые видеопотоки, кодирование видеоданных.

На шляху використання техніки створення якісного відео є обмеження щодо передавання сигналу до студії ТВ та Інтернет медіа-серверів. Очевидною альтернативою супутникової передачі відеосигналу є мережа Інтернет, але недостатня надійність параметрів каналів Інтернету змушує шукати способи оптимізації протоколів передавання даних та алгоритмів кодування відеосигналів. У випадках «прямого ефіру» надійність системи створення відео є визначальною. Саме тому під час використання каналів Інтернет важливим є завдання визначення граничних параметрів кодування відеосигналу, а також вибір протоколів передавання даних та їх параметрів в умовах невизначеності та варіативності параметрів каналів передавання даних.

Ключові слова: доставка відео, надійна передача потокових даних, відео через Інтернет, мережеві відеопотоки, кодування відеоданих.

Wide application of high definition video production is limited due to complications in live transmission to TV studio or to Internet media delivery networks. Internet is an obvious alternative to commonly used satellite transmission. However, insufficient reliability of Internet channels require optimized data transmission protocols and specialized video coding systems. Reliability of video production cycle and video delivery system are keys to cases of live video streaming. That is why

identification of boundaries for video coding parameters as well as wise selection of data transmission protocols and their parameterization is important when using Internet as a way of video delivery.

Key words: video delivery, guaranteed delivery of streaming data, video over Internet, network video protocols, video coding.

Постановка проблемы. Развитие и значительное удешевление современных технологий производства качественного видеосигнала позволило значительно расширить сферы применения видеопроизводства и сделать его доступными для организаций, обладающих значительно меньшими бюджетами. Однако на пути применения техники качественного видеопроизводства стоят ограничения по оперативной передаче сигнала до ТВ студии, либо до медиа-серверов крупных интернет-компаний. Ценность произведенного видеосигнала значительно возрастает при возможности оперативной доставки до конечного потребителя.

Обычным способом передачи сигналов ТВ качества являлся и продолжает доминировать – способ спутниковой связи. Среди ограничений использования данного метода можно назвать относительную негибкость при аренде каналов связи, а также значительную дороговизну по сравнению с другими каналами связи. Среди преимуществ выделяется мобильность станций спутниковой связи, а также их автономность. Альтернативой является использование каналов общих сетей – в первую очередь сетей Интернет. Развитие Интернета привело, с одной стороны, к значительному удешевлению этого сервиса, а с другой – к значительному увеличению таких характеристик, как пропускная способность и надежность. Однако при этом каналы Интернета не обладают гарантированными характеристиками, что вынуждает разработчиков технологий передачи сигналов искать решения в области транспортных протоколов передачи, а также технологий сжатия и кодирования аудио-, видеосигналов.

Как правило, организация спортивных мероприятий дает значительный эффект при возможности выведения видеотрансляции мероприятия в «прямой эфир». Это позволяет увеличить аудиторию мероприятия в десятки, а иногда и в сотни раз. Однако существующие технологии видеопроизводства и выведения видеотрансляции в эфир оказываются недоступными по бюджету для большинства видов спорта. Только несколько видов спорта, такие как футбол и баскетбол, обладают ресурсами, необходимыми для организации, однако и для них оказывается слишком дорогостоящим полное покрытие онлайн видеотрансляциями всех мероприятий сезона. Одной из особенностей организацией качественного видеопроизводства для обеспечения видеотрансляции спортивных мероприятий является необходимость интеграции с автоматизированными судейскими комплексами, которые используются для учета и визуализации текущей игровой ситуации, таких как игровой счет и время.

Основным требованием при организации доставки видеосигнала является надежность технологии, а также устойчивость по отношению к сбоям. При этом особенностью также является достаточно высокий объем передаваемых данных, особенно в связи с принятием новых стандартов видео повышенного качества (HD, Full HD). Данные требования в совокупности с ограничениями по компетенции персонала делают невозможным применение «настольных» программ и систем при создании комплексов, обеспечивающих видеотрансляции. При создании таких комплексов учитывается ряд факторов, в том числе возможность автономной работы, а также отсутствие специальных знаний у эксплуатирующей организации. До последнего времени именно наличие специальных знаний было основным ограничением при организации видеотрансляций, что делало их доступным только для узкого круга профессионалов.

Анализ последних исследований и публикаций. Развитие стандартов для телевизионного вещания и ряда стандартов для передачи информации каналами Интернет привело к созданию нескольких современных систем кодирования видеоинформации, среди которых выделяется совместная разработка ISO/IEC MPEG и ITU-T VCEG с разными кодовыми названиями и одной сутью: H.264 (ITU-T) или MPEG4 Part 10 / AVC (ISO).

Данный стандарт воплотил в себе последние идеи и достижения в области сжатия видео, а также обеспечения устойчивых к сбоям алгоритмов сжатия потоковых данных.

Среди ключевых свойств данного стандарта является:

- многокадровое предсказание;
- использование до 32 ранее сжатых кадров в качестве опорных;
- компенсация движения с переменным размером блока, что позволяет четко выделять области движения;
- пространственное предсказание;
- динамическое переключение между однородными потоками (SP/SI) для поддержки bitrate switching;
- свойства устойчивости к ошибкам (потерям);
- определение уровня сетевой абстракции (NAL), позволяющее использовать один и тот же синтаксис видео в различных сетевых окружениях, включая наборы параметров последовательности (sequence parameter sets, SPSS) и наборы параметров изображения (picture parameter sets, PPSs), которые обеспечивают большую надёжность и гибкость, чем предыдущие технологии;
- гибкое упорядочивание макроблоков (FMO), также известное как группы частей (поддерживается не во всех профилях) и произвольное упорядочивание частей (ASO) – методы реструктурирования порядка представления фундаментальных областей (макроблоков) в изображениях. При эффективном использовании гибкое упорядочивание макроблоков может существенно повысить устойчивость к потере данных;
- разделение данных по значимости и их разнесение по разным транспортным пакетам;
- избыточные части;
- поддержка нескольких режимов управления размером потока данных, в частности CBR (constant bitrate) и VBR (variable bitrate), адаптивный алгоритм управления величиной квантизации в зависимости от заданных ограничений.

Для упрощения использования множества свойств стандарта были определены комплекты возможностей, называемые профилями, ориентированные на конкретные классы приложений. Для класса приложений ориентированных на потоковое видео определен Расширенный Профиль (Extended Profile) с относительно хорошими характеристиками сжатия и дополнительными свойствами устойчивости к потерям, в то время как для цифрового телевидения стандартной четкости определен Основной Профиль (Base Profile), а для цифрового вещания высокой четкости, а также видео на оптических носителях определен Высокий Профиль (High Profile).

К сожалению, в практике недостаточно ограничиться выбором профиля, так как оптимальный набор параметров зависит от ряда практических особенностей конкретного применения, таких как: вычислительная мощность кодирующего устройства, сложность (планарная и динамическая) входного потока, характеристики видеосигнала (размер изображения и частота кадров), характеристики канала связи (переменная пропускная способность, плавающая задержка), а также выбор транспортного сетевого протокола (RTP, RTMP, UDP и т. д.).

Данные сложности приводят к невозможности использования стандартных решений, не учитывающих объективные (зачастую динамические) параметры объекта съемки, а также точки доставки сигнала и сетевого пути между ними.

Цель статьи. Выделить основные проблемы и пути их решения при создании систем реального времени по доставке онлайн видеосигналов средствами Интернет.

Основная часть.

1. Особенности организации видеотрансляций спортивных мероприятий. Одним из наиболее ценных видов «прямого эфира» в телевидении является трансляция спортивных мероприятий. Такие трансляции, как правило, привлекают большое количество зрителей, а также позволяют конкретному виду спорту значительно увеличить

свою аудиторию. Особенно ценны данные трансляции для особо увлеченных болельщиков, которые не всегда могут следовать за своей командой и часто пропускают выездные матчи, которых в сезоне обычно проходит не менее половины.

При организации трансляции спортивных мероприятий творческие телевизионные бригады сталкиваются с рядом следующих задач:

- многоплановая/многокамерная съемка с переключением планов «по живому»;
- повторы интересных моментов (вживую);
- сборные повторы интересных моментов в перерывах мероприятий;
- наложение графической и статической текстовой информации на «живой» видеосигнал;
- наложение динамической игровой информации на «живой» видеосигнал, такой как игровое время и счет;
- аудиосопровождение трансляции одним или несколькими комментаторами, а также совмещение звуковых потоков (интершум, комментаторы);
- оптимальная по стоимости доставка сигнала до телестудии с последующей доставкой к ТВ/DVB операторам осуществляющим вещание в кабельные сети, спутник и эфирное ТВ;
- доставка сигнала на медиа-сервера компаний осуществляющих Интернет-вещание.

Важным аспектом организации качественной трансляции является возможность объединения сигналов как с места проведения мероприятия, так и из телевизионной студии, как правило, располагаемой в непосредственной близости к оборудованию, выдающему сигнал в «эфир». ТВ студия также иногда применяется для комментирования событий в мероприятии и, соответственно, одно (или единственное в трансляции) рабочее место комментатора находится в студии. В процессе совмещения сигналов с места проведения мероприятия и ТВ студии режиссер трансляции сталкивается с проблемой временной задержки.

Временная задержка (от события в матче до появления картинки на мониторе в ТВ студии) возникает из двух основных источников – обработки видеоизображения перед передачей каналами связи, а также из механизма/протокола передачи сигнала. Проблемным в компенсации является наличие «плавающей» задержки, что могут породить особенности работы узлов сети, по которой передается видеосигнал.

2. Особенности кодирования видеосигналов высокого качества и разрешения.

Видеосигнал в своем оригинальном виде определяется тремя параметрами – степенью разрешения изображения (размер), глубиной кодирования цветности (бит на точку), а также частотой кадров. Эти три параметра напрямую определяют объемы данных, передаваемых по видеоканалам. В оригинальном, несжатом виде сигнал стандартного разрешения (SD) 576i (625-line/50Hz) генерирует поток данных в объеме 177 Мбс, в то же время сигнал повышенного качества (HD) 720p (1280x720/50Hz) уже требует 1485 Мбс. Естественно, что при передаче на большие расстояния выделение таких каналов связи не представляется возможным и для уменьшения параметров требуемых каналов связи применяют различные методы сжатия аудио/видеосигналов. Современные кодеки (в частности H.264/AVC) позволяют добиться приемлемого качества изображения при снижении необходимой пропускной способности канала связи до 100 раз. Таким образом, видеосигнал повышенного качества HD может быть передан без ощутимых потерь через канал связи с пропускной способностью до 20 Мбс. Именно возникновение таких кодеков сделало возможным широкое распространения стандарта HD.

При применении алгоритмов сжатия возникает проблема выдерживания качества изображения при значительном снижении требуемых объемов данных для представления изображения. Одним из типовых параметров, характеризующих качество сжатого изображения, является параметр квантизации (QP). Параметр квантизации определяет степень искажения изображения в процессе сжатия и принимает значения от 0 (сжатие без потерь) до 69 (высокая степень искажений). Обычно в моделях кодеров изображения принимается наличие обратной связи первого порядка между параметром квантизации и объемом сжатой информации, описывающей изображение.

Другим важным фактором для степени сжатия является «сложность» изображения, не имеющая в данный момент общепринятой характеристики. С точки зрения кодека H.264/AVC «сложным» является изображение, имеющее большое количество неоднородных деталей, что не позволяет применить эффективные алгоритмы «планарного» сжатия (сжатия в рамках одного кадра). Также «сложным» является динамичное изображение (то, которое с течением времени быстро меняется), что не позволяет эффективно использовать возможность кодека «опорных» кадров.

Данные особенности процесса кодирования приводят к тому, что задав максимальную степень искажений изображения (параметр квантизации QP), кодек H.264/AVC будет генерировать достаточно большой разброс в размере исходящего сжатого потока (bitrate) в зависимости от «сложности» входного видео-потока.

С другой стороны, если задать фиксированный размер исходящего потока (bitrate), то кодек будет подстраивать параметр квантизации «на лету» под входящий видеопоток. В зависимости от динамики входного изображения (в том числе динамики «сложности») данный параметр будет принимать значения в большом диапазоне. Это приведет к неизбежному возникновению артефактов на исходящем изображении, а также к эпизодическому ухудшению наблюдаемого качества изображения.

3. Возможности и ограничения сетей на основе интернет-протоколов стека TCP/IP.

Одной из ключевых особенностей сетей на основе протокола TCP/IP является возможность динамической адресации узлов сети и возможность установления соединения (канала передачи данных) без переконфигурирования узлов сети при изменении топологии сети, а также маршрута между узлами. Это позволяет в случае выполнения задач организации видеотрансляций без значительных дополнительных усилий организовать канал передачи данных между точкой производства сигнала и ТВ студией.

Стоит также отметить, что значительные инвестиции и развитие региональных операторов передачи данных (интернет-провайдеров) привело к возникновению значительных дополнительных мощностей каналов передачи данных, что в свою очередь сделало возможным подключение конечных абонентов на скоростях 10 Мбс и выше. В некоторых регионах стандартным считается подключение абонентов на скорости 100 Мбс.

Однако при декларируемых скоростях 10 Мбс у конечных абонентов наблюдаются совершенно различные максимальные скорости передачи данных в зависимости от маршрутов до конечных точек соединения. Это связано с естественной гетерогенностью сети Интернет, а также непредсказуемостью нагрузки на узловые сети Интернет (маршрутизаторы). Кроме статической гетерогенности, в реальных скоростях передачи данных в зависимости от маршрута соединения с конечной точкой подключения возникают также динамические эффекты, связанные с работой некоторых узлов сети на пределах своих возможностей. Перегрузка отдельных узлов сети приводит к значительным потерям и, как следствие, к падению предельной скорости передаваемых данных.

Гетерогенность поведения сети Интернет в зависимости от маршрута доставки пакетов приводит к тому, что максимальная скорость передачи данных по маршруту А-В-С может оказаться значительно выше, чем передача напрямую по маршруту А-С. Эта особенность приводит к идее создания собственной распределенной сети приема/передачи видеосигналов с целью увеличения максимально возможных скоростей передачи данных.

В применение к задачам организации видеотрансляций, особенно в условиях технической невозможности вовремя организовать гарантированный канал связи, сеть Интернет выглядит привлекательной, а иногда и единственно доступной альтернативой.

Выводы и предложения. Современные средства кодирования видеоинформации позволяют значительно снизить требования к пропускной способности каналов передачи данных с целью передачи «живых» видеопотоков. Это открывает новые возможности в использовании относительно недорогих в реализации каналов связи через сеть Ин-

тернет. Однако особенности алгоритмов кодирования видеоинформации в сочетании с особенностями сети Интернет делают невозможным непосредственное использование стандартных систем кодирования видеоинформации для передачи сигналов от точки производства сигнала до точки приема (обычно ТВ студии). Для эффективного использования современных систем кодирования видео для передачи через сеть Интернет необходимо введение специализированной надстройки, которая позволит учесть особенности как производимого сигнала (с учетом сложности изображения и его динамики), а также особенности предполагаемых маршрутов передачи данных. Данная надстройка позволит скорректировать параметры кодирования видеосигнала с учетом как самого входного сигнала, так и с учетом параметров маршрута передачи данных до точки назначения. Отдельного внимания заслуживает возможность создания сети видеосерверов, позволяющих обойти ограничения, связанные с гетерогенностью сети Интернет.

Список использованных источников

1. Ричардсон Я. Вideoкодирование H.264 и MPEG-4 – стандарт нового поколения / Ян Ричардсон. – М. : Техносфера, 2005.
2. Семенюк В. В. Современные методы и стандарты экономного кодирования видеоинформации / В. В. Семенюк. – СПб., 2002.
3. H.264/MPEG-4 AVC [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://en.wikipedia.org/wiki/H264>.

UDC 004.054:004.771:378.147.88

Volodymyr Kazymyr, Doctor of Technical Sciences

Mariia Tevkun, PhD student

Iryna Posadska, PhD student

Oleksandr Drozd, PhD student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

METHODS OF DATA COLLECTION TO EVALUATE THE QUALITY OF DISTANCE LEARNING SYSTEM

В.В. Казимир, д-р техн. наук

М.В. Тевкун, аспірант

І.С. Посадська, аспірант

О.П. Дрозд, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МЕТОДИ ЗБОРУ ДАНИХ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

В.В. Казимир, д-р техн. наук

М.В. Тевкун, аспірант

И.С. Посадская, аспірант

А.П. Дрозд, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

МЕТОДЫ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

The issues, associated with the evaluation of quality of distance learning system, were discovered. The most significant data and statistical units, which are used to assess the quality of distance learning system, were investigated. The data, which can be obtained from the internal database of the distance learning system using standard tools, was considered. The method of obtaining data, based on the network traffic monitoring using active network techniques, was proposed.

Key words: distance learning, E-learning, statistical units, quality evaluation, Moodle, database, traffic monitoring, active network techniques, active node.

Розглянуто проблеми, пов'язані з оцінкою якості системи дистанційного навчання. Досліджено найбільш значущі дані і статистичні одиниці, які використовуються для оцінки якості системи дистанційного навчання. Виявлено дані, які можуть бути отримані з внутрішньої бази даних системи дистанційного навчання за допомогою

стандартних інструментів. Запропоновано метод отримання даних, на основі моніторингу мережевого трафіку з використанням методики активних мереж.

Ключові слова: дистанційне навчання, статистичні дані, оцінка якості, Moodle, база даних, моніторинг трафіку, методика активних мереж, активний вузол мережі.

Рассмотрены проблемы, связанные с оценкой качества системы дистанционного обучения. Исследованы наиболее значимые данные и статистические единицы, используемые для оценки качества системы дистанционного обучения. Выявлено данные, которые могут быть получены из внутренней базы данных системы дистанционного обучения с помощью стандартных инструментов. Предложен метод получения данных, на основе мониторинга сетевого трафика с использованием методики активных сетей.

Ключевые слова: дистанционное обучение, статистические данные, оценка качества, Moodle, база данных, мониторинг трафика, методика активных сетей, активный узел сети.

Introduction. To archive the high level in modern cultural, social, economic, scientific and technological development Ukraine requires comprehensively developed, professionally trained specialists. That is the reason why the problem of development and practical implementation of the most effective information technologies of studying, which are corresponding to the general concept of education, is becoming increasingly relevant. The essence of this concept is to prepare the individual, who has not only basic knowledge, sufficient for the requirements of the current level of production, science, culture and the state, but who also has the ability to actively creative professional and social activities. An important role is given to the new software and technological tools of individualization of learning process.

The traditional form of education is the education with the teacher. However different aids are often used in the learning process for a long time. Considering the modern level of development of telecommunications there are abilities to provide access to educational resources for students, who are outside of university campus.

Informatization of Education is one of the key conditions for successful development of modern society. The objective of distance learning is fast and convenient dissemination of knowledge, providing accessibility of education for all groups of the population. This goal is implemented using software, constructed on modern information and communication technologies, which received the title "e-learning system" (system of distance learning).

Distance learning (E-learning) is the interaction between teachers and students at a distance, which reflects all the typical components of the educational process (objectives, content, methods, organizational forms, learning tools etc.) that is implemented using specific facilities of Internet technologies or other means, which provides interactivity [1].

Providing of quality education services by educational institutions first of all should be governed by state regulations, where the quality of distance education is determinate as the combination of the properties of educational system, that provide trainees obtaining the knowledge, skills and abilities, which satisfy certain requirements, specified in the state standards of professional education. International standards of the ISO 9000 series are methodological foundation for any approach to evaluation and quality control of E-learning [2].

However, these regulations can not cover all the learning parameters and guarantee the receipt of the full range of knowledge and skills that the student must master during the educational process. Consequently each educational institution requires its own quality management system, including documents, methods and procedures used in the learning process to achieve the desired quality of service. Based on the basic principles and requirements of the traditional forms of learning, this system should cover all the aspects, inherent to the particular institution.

Related work. Distance learning is becoming an increasingly widespread form of acquiring knowledge (and a document of graduation, which is not always the same thing) for several reasons. The number of people wishing to study in various educational institutions is increasing, however, the provision of all learning opportunities and ensuring the necessary level of educational services through traditional forms of learning is not possible. On the other hand, the need to ensure material welfare under conditions of real market validity stimulates the growth of the number of students who wish to study without interruption from the main practice [3].

In the most cases distance learning courses are developed and provided based on two technological solutions: case - technology and network technology [4]. Interactive case – technologies that are designed to strengthen the cognitive activity of students are currently used. There are online tutorials, including anthology, handbooks, training programs with multimedia support, computer lab workshops, video conferencing, e-mail etc.

Therefore, feature of case - technologies is that the basic school and student are separated here much greater than in the classical form of distance learning. In case of such learning technology there are no traditional sessions and exams; trainings are usually conducted on an individual schedule (supplementary agreement). The introduction of this technology in the educational process is a less radical transition to a distance form. Current approach can be used by universities as one of the areas to improve distance education [5] [6].

Purpose. The aim of the current investigation is to consider the most valuable parameters and statistical units, which are used to evaluate the quality of distance systems. The methods to obtain the required data and statistical units are presented in the paper. Current investigation discovers the data, which can be received using the standard tools from the internal database of the most widely used distance learning systems. The method to obtain the data using the traffic monitoring system, based on the active network techniques, is also proposed.

Investigations. Distance learning is an independent form of education; information technology is the leading tool in distance learning. According to many experts, E-learning is a solution for the most part of educational problems. Innovations, carried by remote education, should enhance the productivity and efficiency of training. Among the problems of modern education the issue of concerning the necessary and sufficient level of quality of training received much attention. Such tendency in Ukraine coincides with the world trend [7]. It is necessary to consider that there is a tendency to compare E-learning with full-time learning in task of quality assessment due the fact that the benefits of e-learning compared to part-time form of training is obvious because of continuous dialogue between teachers and students, students with each other. Methods to analyze the quality of E-learning systems are different among groups of experts and scientists, user groups with different interests. The parameters that scientists use to determine the quality of e-learning systems are presented bellow:

- curriculum, content and organization;
- presentation, training and evaluation;
- achievements of students;
- student support system;
- teaching resources;
- guarantee and quality improvement etc.

Should be considered, that the quality of distance education consists of a set of consumer properties of educational services, which provide an opportunity to satisfy the complex requirements for the comprehensive development of the student's personality. Set of quality indicators of distance learning can be divided into several components:

1. Teacher qualifications and student body. Teacher manages students' independent work and performs the following functions: target; diagnostic; motivational; design and construction of the educational process; consulting; information and learning; organizational; communication skills; controlling.

2. Methods and techniques of learning, providing traditional or innovative educational technology, computer, traditional or active methods of learning.

Since the quality of e-learning system directly depends on the quality of information technology, these categories can only be considered inseparably connected. The quality of education can be characterized by such groups as:

- indicators of quality of educational content;

- indicators of quality of learning technologies;
- indicators of quality of educational outcomes.

Each of these groups corresponds to a number of quality properties and certain aspects of security, organization and conduction of the educational process. A large number of distance learning courses developed even in one institution leads to natural questions, including the following:

- which courses contain real work and are visited by many users, and which courses waste web-resources;
- what the reasons are for changes in the users activity: rating and quality of the course, technical problems or there are any other reasons;
- how the load on the system of distance learning changes, and what measures should be taken to avoid a collapse of the system.

Answers to such questions can improve the quality of distance learning, timely detect faults in the system, get rid of the obviously unnecessary and unpopular courses.

Collection of statistical data in the Moodle e-learning system. To monitor the user activity the distance learning systems contain the information (logs) about attending courses, individual courses resources, user activities etc. For instance, e-learning system Moodle has the ability to construct the reports, based on the information from logs, which contain such information:

- which user entered the system and what IP-address he used;
- when was the first and last entrance;
- what elements were opened, what actions were performed (can be seen in figure 1), total number of views;
- detailed reports about estimates.

Such reports are convenient for courses developers and lecturers, who need to monitor user activity on their course. On the other hand such reports are less convenient for the system administrator due to large amount of unnecessary detailed information.

СДН ЧНТУ: All participants, Wednesday, 12 February 2014 (Server's local time)

СДН ЧНТУ (Site)

Wednesday, 12 February 2014

All activities

All actions

Display on page

Get these logs

All participants

[more]

Displaying 159 records

Page: 1 2 (Next)

Course	Time	IP address	User full name	Action	Information
СДН ЧНТУ	Wed 12 February 2014, 10:45 PM	46.200.46.219	Гость	course view	СДН ЧНТУ
СДН ЧНТУ	Wed 12 February 2014, 10:44 PM	46.200.46.219	Гость	course view	СДН ЧНТУ
СДН ЧНТУ	Wed 12 February 2014, 10:42 PM	46.200.46.219	Гость	course view	СДН ЧНТУ
СДН ЧНТУ	Wed 12 February 2014, 10:42 PM	46.200.46.219	Гость	user login	1
СДН ЧНТУ	Wed 12 February 2014, 8:58 PM	193.46.201.171	Александр Дрозд	user logout	2
СДН ЧНТУ	Wed 12 February 2014, 8:47 PM	193.46.201.171	Александр Дрозд	course view	СДН ЧНТУ
Site	Wed 12 February 2014, 8:47 PM	193.46.201.171	Александр Дрозд	role assign	Создатель курса

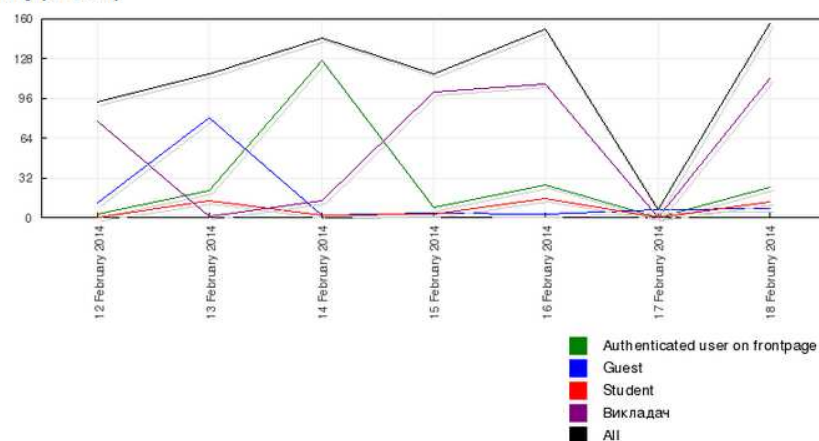
Fig. 1. The report about actions of system Moodle users

List of reports are significantly extended in a special mode of collecting statistics, using the task scheduler *cron*, which starts at a specified time and collects data for ascertainable period of time. Reports based on these statistics are more focused on the comparative assessment of the options within the entire system of distance learning (shown in figure 2). The in-

dicators of courses visits count by date, by users' role, the indicators of users' activity by courses (shown in figure 3), the indicators of courses activity by absolute number of elements, count of possible visitors etc. can be obtained from such statistical units.

Course: Report type: Time period:

СДН ЧНТУ - All activity (all roles)

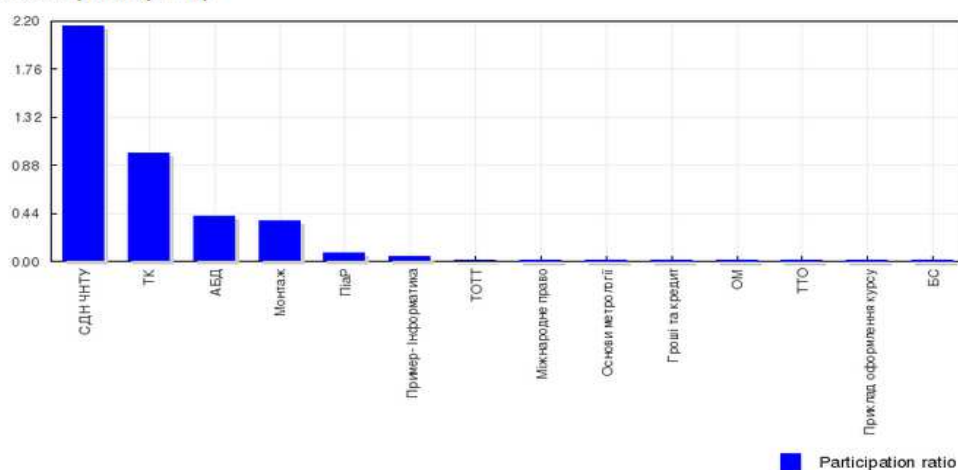


Period ending (day)	Authenticated user on frontpage	Guest	Student	Викладач	All	Logs
18 February 2014	24	7	13	112	156	Course Logs
17 February 2014	0	6	0	0	6	Course Logs
16 February 2014	26	3	15	108	152	Course Logs
15 February 2014	8	4	3	101	116	Course Logs
14 February 2014	127	2	2	14	145	Course Logs

Fig. 2. The report with the results of statistics collection

Report type: Time period - last:

Most participatory courses (views/posts)



Course	Views	Posts	Participation ratio
СДН ЧНТУ	96	151	2.16
ТК	93	113	0.99
АБД	68	28	0.41
Монтаж	48	18	0.38
ПіаР	14	1	0.07

Fig. 3. The report about activity of users in different courses

The main disadvantage of such mode of statistics collection is the increased load on the server and impact on the performance of the total system. This is the reason why this mode is often left disabled.

Despite the fact that statistical data collection in the Moodle e-learning system is performed automatically, the reports building should be started manually. Therefore there is no continuous monitoring tool, which automatically reported the administrator or teacher about the problems in user activity or rating of the course. To perform the monitoring of activity of e-learning systems users additional external systems can be used. Such systems often use a ready-made statistics, collected in the database. An example of such a system is the analytical platform Deductor [8]. The disadvantage of such systems is the connection with a particular e-learning system and database structure. The most universal approach to the monitoring of user activity is to analyze the network traffic.

Method of collection data based on the network traffic monitoring. The task of obtaining real and objective data that will be used and analyzed for decision making, is one of the most important to perform any evaluation, because the results are directly dependent from the quality of the source material.

Considering the fact that the majority of modern systems of distance learning use the computer network technology, are available through computer networks and built using basic network protocols, the task of collecting data about the usage of distance learning system can be solved by monitoring network traffic, i.e. requests from users and responses of e-learning system.

The scheme of the method of data collection, based on network traffic monitoring is shown in figure 4.

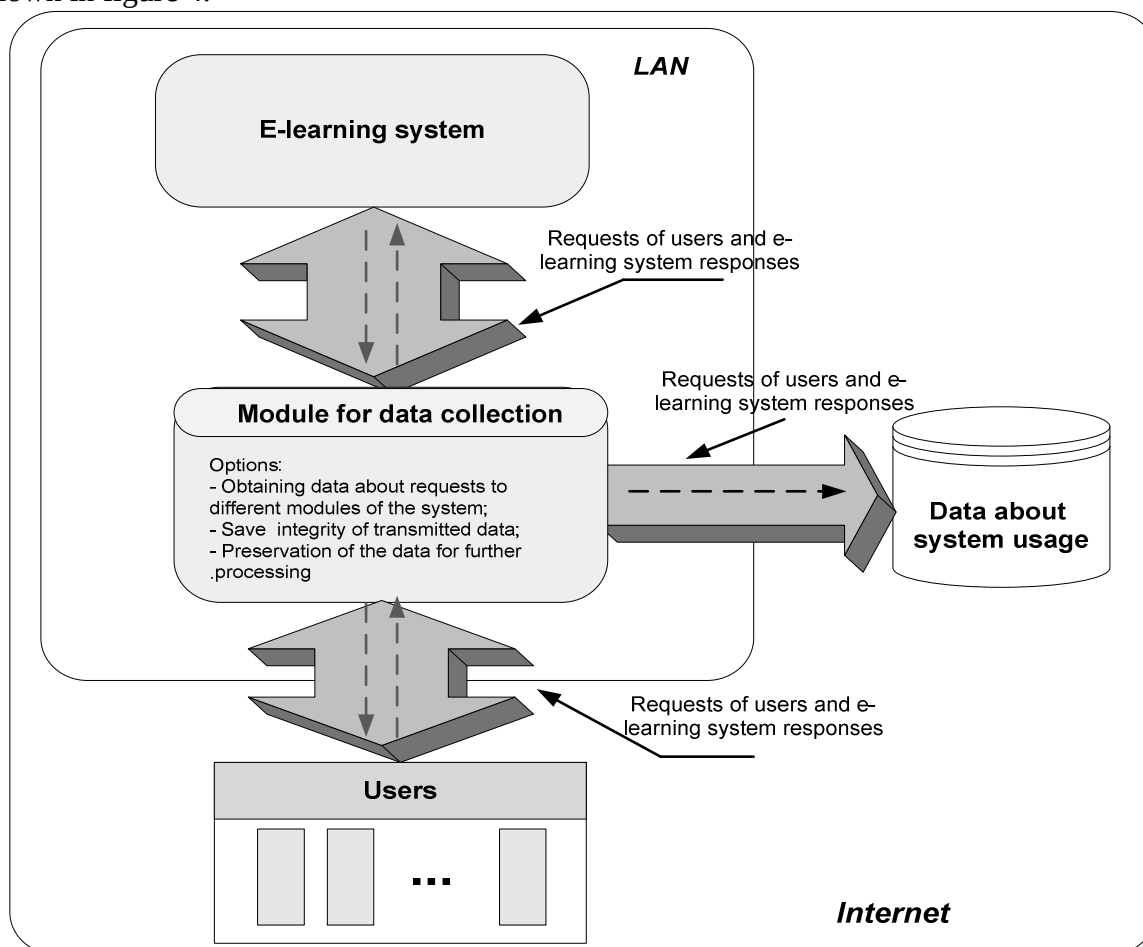


Fig. 4. Method of data collection, based on the network traffic monitoring

The basic functional unit of the proposed method of monitoring network traffic is data acquisition module, which has to fulfill the following functions:

- obtaining user requests to the system and its modules;
- processing and analysis requests (packets) to obtain the required information;
- transfer of the original request (packet) to the system, because the violations of the structure of the package can create problems in the interaction between the system and the user;
- obtaining system responses;
- processing and analysis responses (packets) to obtain the required information;
- transfer of the original response (packet) to the user,
- preservation of information received.

The main requirements for data acquisition module is receiving data about the interaction of the system - user and storing relevant information for further processing, preserving the integrity of the transferred data and minimizing the impact of the module on the performance of the system (data transmission delay, packet loss, etc.).

Usage of active network techniques to solve the task of network traffic monitoring. In traditional packet-switched networks e.g. the internet the processing of the network traffic is reduced to the transfer of data in original form. Network nodes perform a series of computational processes, such as the filtering of packet addresses, protocol conversion and packet encapsulation, distribution of routing information and updating of the routing tables. This functionality is limited to information contained within the packet header. Due to network performance issues only the end systems consider application specific data processing especially in the conditions of significant increasing in network traffic. Considering the fact, that the existing network infrastructure also has difficulties with the integration of new services, technologies and standards, the several strategies, united by the common name of "active networks", were proposed to solve the problems [9].

Active networking is the emerging field, which provides intelligence mechanisms in the network nodes (switches and routers) to perform data processing during the transmission over the network. According to the active networks concept processing of traffic is performed considering the application requests and changing of network state. Two main approaches of construction of active networks can be identified: Strong Active Networks and Moderate Active Networks. In Strong Active Networks the program code, which should be executed by switches or routers, is placed into the capsules (packets) and sent thought the network. In Moderate Active Networks the program code is placed into the network nodes (switches and routers) to be executed, as and when required [10]. This code can implement network services to monitor and manage networks, deploy new protocols and provide network security and intrusion detection.

The key component of the active network is the active node (switch or router) that has the ability to perform the active processing at the particular stage of data transmission. The active node reference architecture, developed by DARPA, is used as the basis for the active nodes architecture and is shown in figure 5 [11].

Depending on the packet type the active node decides whether to fast forwarding the packet or execute a processes on the packet packets. Active networks rely on the traditional routing functionality provided by the node's standard hardware and software. Additional functionality is implemented by specific structural units of Active Node:

- packet filters are used to identify the smart packets that require additional active processing;
- Node OS performs standard operating system services;
- Execution environments (EEs) provide the managing, control, language and execution environment for active services;
- Active Applications (AAs) provides the execution of active services;

- Managing execution environment (MEE) and Managing active applications (MAAs) provide the services for active node management.

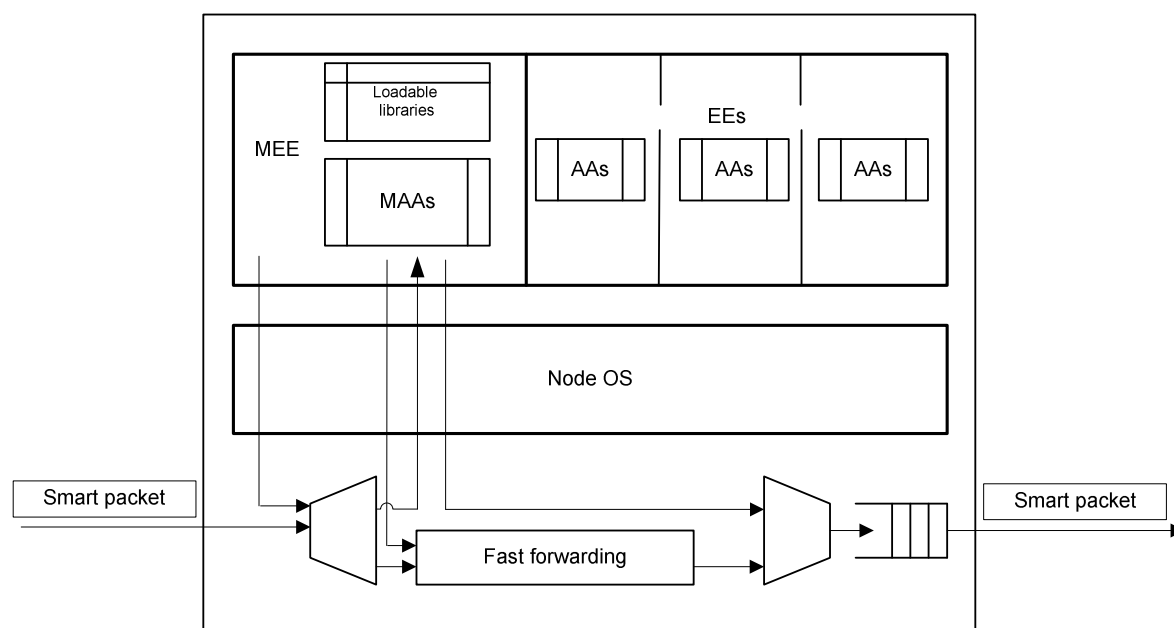


Fig. 5. Architecture of the Active Node proposed by DARPA

Proposed architecture of the Active Node is used as the basis for the development of the Active Node, which performs the function of the network traffic monitoring for the traffic that contains data about usage of the e-learning system and its modules and courses. Based on the architecture of active networks this system for network traffic monitoring was developed and implemented and was cable to capture live data. Current system was developed to monitor the activity of network users in case of using external recourses in working time at working place [12]. However due to special attention, which was paid to the task of traffic monitoring, this system can be used to solve additional tasks with minor changes in program code without any modifications in architecture.

The proposed system intercepts http packets transmitted through the network active node, which are used and should be placed as the network gateway, using a filtering technique, performs analysis and provides statistical information about network activity of each user by IP address of the network and summary information for all network traffic. The open source operating system GNU / Linux was used as the Node OS due to its advantages, such as flexibility and ability to modify the existing software. Linux has a wealth of useful tools for data capturing and filtering, such as firewall Netfilter and a utility for firewall management of Iptables that enables the use of the additional modules for data processing and analysis. Netfilter performs analysis of data packets and filtering according to chains of rules, but normally it is unable to conduct sophisticated analysis of transmitted data, so the extension of the Netfilter by utilising additional modules is required. Netfilter functionality is extended by the addition of a specially developed module and applying an extension to Iptables rules to enable specific packets that are matched to execute this code before being forwarded. This code is the Active applications in the Active Node and can be customised to meet the requirements, which in this case is network monitoring. An architectural diagram of the proposed system is shown in figure 6.

Each packet, transmitted with an HTTP header, is intercepted by Netfilter firewall and transmitted to the Match module, which copy the packet into the device file and then return it to the network for forwarding as usual. To reduce the impact on the network performance and prevent data loss during the interaction between the systems parts the copies of the packets are created and are organized in a queue to perform the ordered data processing and minimize the

data lost. The processing of the data from packet is performed by the Logger daemon, which reads the packets copied from the device file, processes it and writes the obtained data to the MySQL database. This database provides the information for the Web application, which is used to analyse the data obtained from the network. Once the information has been stored in the database then it is possible to analyse it in many ways.

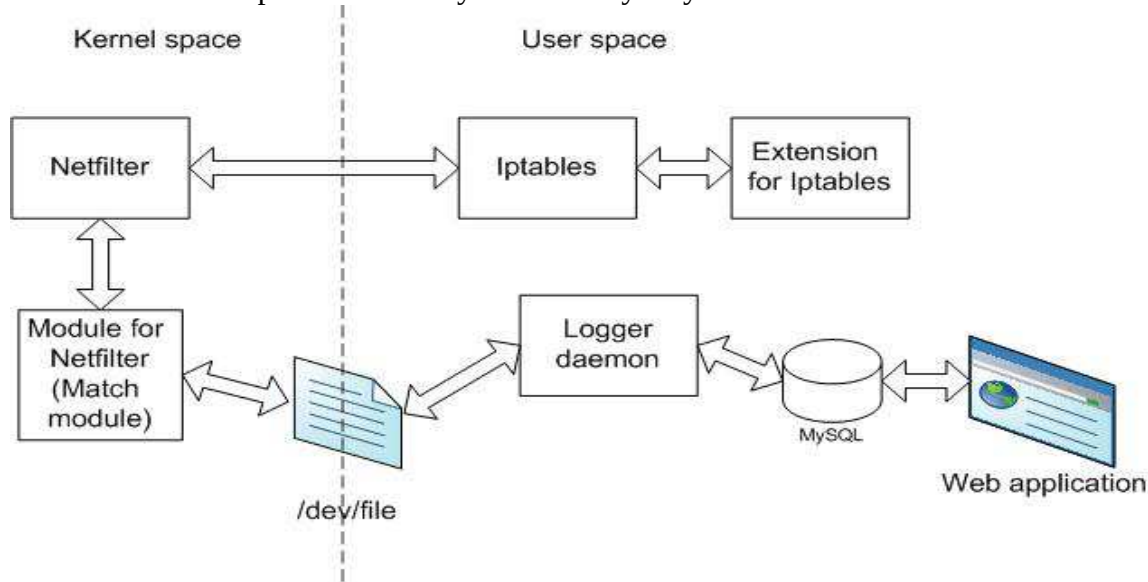


Fig. 6. Architecture of the proposed system of network traffic monitoring

Conclusions. The evaluation of the quality of the distance learning system is an important task of the modern education. Due to lack of standardization in development of e-learning system and its content each system requires unique approach in evaluation. Another important issue in the area of distance learning is the lack of standards of indicators that should be used to perform assessment of quality of e-learning system. Considering these facts the conclusion can be made that evaluation of quality of e-learning system and its courses is a complex and difficult task, which requires innovative approaches to be solved.

One of the most important tasks to perform the assessment is the task of collection data, which are used for further processing and analysis to make conclusions about quality of service. Current task can be divided for subtasks: determine the necessary data, obtain this data, and get rid of redundant data. Other important issues are the accuracy, credence and relevance of the collected data. To implement the task of data collection the methods should be used, which provide the data, that correctness and veracity is not in doubt.

The most popular distance learning systems, such as Moodle, contains standard internal tools, which can be used to obtain statistical data about e-learning system usage. However, the provided data are often incomplete and redundant, that makes the task of quality evaluation impossible due to lack of necessary parameters. The method of collecting data using network traffic monitoring was proposed in the current paper. Presented method is designed using active networks techniques and provides data filtering and monitoring. The proposed system of traffic monitoring was implemented using standard Linux tools, such as Iptables, Netfilter and MySQL and also contains several additional developed programs.

References

1. Ахayan А. А. Виртуальный педагогический вуз. Теория становления / А. А. Ахayan. – СПб. : Корифей, 2001. – С. 170.
2. ISO 9000. Quality Management [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Available: <http://www.iso.org>.
3. Трайнев В. А. Дистанционное обучение и его развитие. Обобщение методологии и практики использования / В. А. Трайнев, В. Ф. Гуркин, О. В. Трайнев. – М., 2008.

4. *Вострокнутов И. Е.* Как выбирать программные средства” И.Е.Вострокнутов, Компьютерные учебные программы. – 2000. – № 2.
5. *Кузнецова З. М.* Управление качеством дистанционного образования / З. М. Кузнецова, Г. С. Фисенко // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 1 – С. 43-45.
6. *Зайченко Т. П.* Основы дистанционного обучения: теоретико-практический базис : учебное пособие / Т. П. Зайченко. – СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2004. – С. 167.
7. *A. Luxton*, Quality Management in Higher Education.- Higher Education Management Series, 2005. – Num. 2 – P. 44.
8. *Аналитическая платформа Deductor* как средство анализа результатов активности пользователей системы дистанционного обучения Moodle [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.moluch.ru>.
9. *DARPA researches* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Available: <http://www.darpa.mil>.
10. *A. W. Jackson, J. P.G. Sterbenz, M. N. Condell and R. Rosales Hain*, “Active Network Monitoring and Control: The SENCOMM Architecture and Implementation”, DARPA Active Networks Conference and Exposition (DANCE’02), New York, March 2002.
11. *K. Calvert*, ed. Architectural Framework for Active Networks. AN draft, AN Architecture Working Group, 1998.
12. *M. Tevkun, O. Verovko, J.N. Davies, V. Kazymyr and N. Rvachova*. “Network traffic monitoring system using active network techniques”, Proceedings of the Fifth International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 13). – Wrexham: Glyndwr University. – 2013. – P. 161-168.

УДК 004.75: 004.451.44

Olha Prila, PhD student
CNTU, Chernigiv, Ukraine

THE ALGORITHM OF JOB SCHEDULING IN GRID ENVIRONMENT BASED ON THE DYNAMIC PROGRAMMING METHOD

О.А. Пріла, аспірант
ЧНТУ, м. Чернігів, Україна

АЛГОРИТМ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ У ГРІД-СЕРЕДОВИЩІ НА БАЗІ МЕТОДУ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

О.А. Преляя, аспирант
ЧНТУ, г. Чернигов, Украина

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ В ГРИД-СРЕДЕ НА БАЗЕ МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

The problem of the effective usage of the grid environment for solving different types of computing tasks of large dimension is researched in the paper. We study the problem of optimal task scheduling at an affordable set of resources on the one hand and the equitable distribution of resources between the tasks that come into the input queue of a centralized workflow management system, on the other hand. Two stage strategy of task scheduling in grid environment that takes into account user-defined QoS requirements, structural features and execution dynamicity of the task is presented. The dynamic programming method application to the workflow scheduling problem is proposed in the paper and the effectiveness evaluation experimental results of the proposed decision are given.

Key words: grid, workflow, scheduling, quality of service.

Досліджується проблема ефективного використання ґрид-середовища для вирішення різних типів обчислювальних задач великої розмірності. Розглядається задача оптимального розміщення обчислювальних блоків завдання на доступній безлічі ресурсів з одного боку і справедливого розподілу ресурсів між завданнями, які надходять у вхідну чергу централізованої системи управління потоками завдань, з іншого боку. Представлена двоетапна стратегія планування завдань у ґрид-середовищі, що враховує встановлені користувачем вимоги до рівня QoS, структурні особливості та динаміку виконання завдання. Запропоновано застосування методу динамічного програмування до задачі планування в ґрид-середовищі і представлені результати експериментального дослідження ефективності запропонованого рішення.

Ключові слова: ґрид, потік завдань, планування, якість обслуговування.

Исследуется проблема эффективного использования грид-среды для решения разных типов вычислительных задач большой размерности. Рассматривается задача оптимального размещения вычислительных блоков на доступном множестве ресурсов с одной стороны и справедливого распределения ресурсов между задачами, поступающими во входную очередь централизованной системы управления потоками задач, с другой стороны. Представлена двухэтапная стратегия планирования задач в грид-среде, учитывающая установленные пользователем требования к уровню QoS, структурные особенности и динамику выполнения задачи. Предложено применение метода динамического программирования к задаче планирования в грид-среде и представлены результаты экспериментального исследования эффективности предложенного решения.

Ключевые слова: грид, поток задач, планирование, качество обслуживания.

Introduction. Currently grid technologies are actively developed and applied for solving of complex high-dimensional problems such as economic and ecology prognosis, medical information processing and others. The problem of task adoption for effective execution in the grid environment is rather complex itself. Abstract features of using of the grid-infrastructure for different types of tasks' execution based on their structural but not functional features can be determined.

The actively developing field in the grid-computing is the technology of workflow execution in grid-environment. The workflow represents the task as a sequence of subtasks with certain synchronization scheme. The presence of several parallel blocks in such tasks allows to execute them on different resources for more efficient problem solution. To provide such a solution several factors should be taken into account and the most important of them is the expenses for data exchange between utilized resources. Workflow scheduling is an NP-complete problem in general [1].

Another component that is very important for grid end-users is the ability of a grid system to provide its consumers with the required quality of service (QoS). It results in the need to allocate task on a set of resources which is most suitable for its execution depending on the QoS information provided by the resources. While for non-commercial community grids it is limited to estimate completion time (ECT), commercial utility grids can also operate with costs of calculations and some other parameters.

The paper is dedicated to the research of the aspects of scheduling different types of tasks in grid-environment. Another research problem is the strategy of the central queue of grid tasks processing according to their priorities and QoS requirements.

The complex two stage strategy for tasks' queue processing and task scheduling next is proposed in the paper.

The formalization of the task of scheduling different types of jobs in grid environment. One of the factors influencing the performance of the grid-network is planning efficiency. Taking into account the heterogeneity of grid-resources, as well as the structural features of tasks, the following factors should be understood under the scheduling efficiency:

- 1) equable load of all the grid computing elements;
- 2) the minimal tasks' downtime in the run queue;
- 3) the minimal execution time of tasks on a dedicated set of resources, including the time required for data transfer between computing blocks.

The classification of the tasks which are calculated in the grid-environment according to the structural criterion has been suggested by the authors [2].

The execution effectiveness of the task represented by a single computing unit or a set of consistent, depends on the effectiveness of its program implementation, planning strategies of the low-level grid brokers and local scheduler.

If the task is represented by a set of similar tasks with different input data, scheduling optimization reduces to decomposition of the task according to the current options of grid-infrastructure.

The presence of parallel blocks in workflow tasks allows executing them on different resources for more efficient problem solution. To provide such a solution the expenses for data exchange between utilized resources should be taken into account.

The expenses for data exchange can be eliminated by clustering several blocks of workflow for the same resource. There is a concept of linear and nonlinear clustering [1], when serial or parallel blocks are grouped respectively. The optimization problem is reduced to finding the optimal solution between parallelization and clustering.

Workflow task is generally modeled by a precedence-constrained task graph, which is a directed acyclic graph with nodes representing the subtasks and the directed edges representing the execution dependencies between them as well as the amount of communication.

For effective workflow scheduling the following subtask parameters must be defined:

{ECT, Memory, {T}},

where ECT - estimated completion time;

Memory – memory requirements;

{T} – set of links to other modules (one-way communication between nodes).

For effective execution in the grid-environment the following limitations are imposed for the workflow structure.

1) Lack of loops and branches. These limits are determined by the task structure presentation in the form of an acyclic directed graph. However, the task structure having loops can be converted to DAG by adding an additional level. Branching can be handled at the level of metascheduler through the dynamic approach to planning.

2) High level of task granularity. The dimension of calculations should be much higher in relation to the dimension of the transmitted data [1]. In [3] the granularity problem is defined as follows:

$$g = \min_{x=1;\nu} \{ \tau_x / \max_j \{ c_{x,j} \} \}, \quad (1)$$

where τ_x – computational complexity of node n_x ;

$c_{x,j}$ – dimensionality of the data being transferred between nodes n_x and n_j ;

ν – the number of computing nodes of the task.

Grid-network structure can be presented as a complete directed graph where vertices define the resources, and the weight of arcs define bandwidth computer network. Each unit of the grid-net structure is characterized by the following compulsory parameters.

{CPU, Memory, Cost, {R1, R2}},

where CPU – computational power;

Memory – memory characteristics;

Cost – usage cost;

R1 – receive data network bandwidth;

R2 – data transmission network bandwidth.

The optimization task presupposes working out an optimal computing units arrangement on the available set of resources.

The traditional classification of jobs scheduling tasks is presented in [4] but it does not take into account the multicriterion characteristic of the objective function. However, besides the job performance time, the competitive criterion, computing cost, is significant for the commercial grid-environment. The task of workflow scheduling in the grid-environment is NP-complete problem in general.

At the middleware level grid does not provide full support for the tasks of different types. For instance, ARC Nordugrid (<http://www.nordugrid.org/>) and gLite (<http://glite.cern.ch/>), which are considered as main providers of grid middleware in EMI (<http://www.eu-emi.eu/>) and which are widely used by the Ukrainian national grid-infrastructure make use of the following formats of the grid-tasks specifications: JSDL [5], xRSL [6] and JDL [7]. Among the mentioned JDL-format is the only to introduce the notion of the task type (Job, DAG и

Collection), which still has certain limitations – the determination of the periodic synchronization between the units and the data transmission volumes is impossible. JSDL and xRSL formats provide just means of determining the parameters of single tasks; the workflow tasks, as well as the relations between single tasks, is not supported.

Middleware grid brokers realize simplified scheduling strategies and do not allow workflow scheduling taking into consideration the tasks structure and QoS parameters. For instance, ARC Nordugrid broker realizes the following strategies of the available computing resources selection: RandomBroker, BenchmarkBroker, FastestQueueBroker, DataBroker [6]. The latter means that the mechanisms of complex grid-tasks scheduling are to be realized and arranged beyond the middleware grid level.

The structure of the metascheduler of the centralized workflow management system.

An important component of the use of the grid-environment is to provide its consumers with the required level of quality of service (QoS).

In addition to finding the optimal schedule of workflow task on the set of available computing resources, the important aspects of the metascheduler are: a) the strategy of processing the input queue of tasks in accordance with their priorities; b) the choice of the scheduling algorithm according to the structural features of the task; c) dynamic control of task execution; d) accounting the dynamicity of grid-network as well as the level of quality of service of grid resources.

Below we consider the metascheduler implementation aspects which are an integral part of the centralized workflow management system. Lack of the centralized approach, which consists in the possible occurrence of bottleneck, is assumed to be eliminated through the scalable workflow management system architecture.

This paper introduces a two-stage strategy for task scheduling in grid environment. The first stage involves the processing of the input queue of tasks in accordance with their priorities and QoS requirements. The second phase involves task scheduling at the affordable set of resources taking into account the structural features of the task.

Below we consider the approaches to scheduling the workflow task on the set of available heterogeneous grid-resources as well as strategies for handling the input queue of tasks of different types accounting the dynamicity of their execution.

Dynamic programming method application to the problem of workflow scheduling.

In [1; 8; 9] the classification and the results of the algorithms' effectiveness and complexity evaluation are given.

The methods of search in the space of states and methods of mathematical programming can produce optimal solutions, but in general are characterized by high computational complexity of the algorithm. Heuristic approaches can give effective solutions in polynomial time, but in general these approaches do not provide the optimal solution, as the average, the worst and the best performance of these algorithms is unknown [1].

Clustering (DSC, CASS-II [10]) and replication (TDS, TANH [11]) approaches aimed at reducing the time required for data transfer between nodes by placing tasks that require the exchange of large amounts of data on a single resource or duplicate blocks, respectively [9]. The disadvantages of these approaches is the difficulty of accounting the heterogeneity of the subtasks, and the lack of opportunities to use several resources grid-network for parallel blocks task.

An important aspect of the use of commercial grid-environment is the need to optimize the mutually exclusive characteristics of resource cost and execution time taking into account the significance of the coefficients of each one. Most heuristic scheduling algorithms focus on improving one of the criteria. Today, the only workflow scheduling algorithm that solves the multiobjective optimization problem is the LOSS / GAIN algorithm [8]. Many of the existing scheduling algorithms impose some restrictions on the structure of the task and the structure of grid-network.

Dynamic programming method is one of the methods of mathematical programming, applied to the problem with optimal substructure. Optimal substructure problem assumes that the optimal solution of its constituent smaller subtasks can be used to solve the original problem [12].

The algorithm introduces the concept of levels in the structure of the work flow, which are determined by a variety of tasks that can be performed simultaneously at a certain stage of the task. For example, a workflow structure shown in Fig. 1 (a) may be allocated to the following levels: 1) {A1}; 2) {A2, A3, A4}; 3) {A5} and 1) {B1}; 2) {B2, B3, B4}; 3) {B5, B6}; 4) {B7} for the structure shown in Fig. 1 (b) respectively.

Optimal solution contains optimal solutions at every level, and, therefore, the task has the property of optimality [12].

The objective function of the algorithm can be determined by several parameters that have some weight. Accordingly, the objective function might look as follows:

$$y = k_1 \cdot \text{time} + k_2 \cdot \text{cost} \quad (2)$$

where k_1, k_2 - user-defined coefficients of QoS parameters;

time – task execution time;

cost - the cost of computing resources usage.

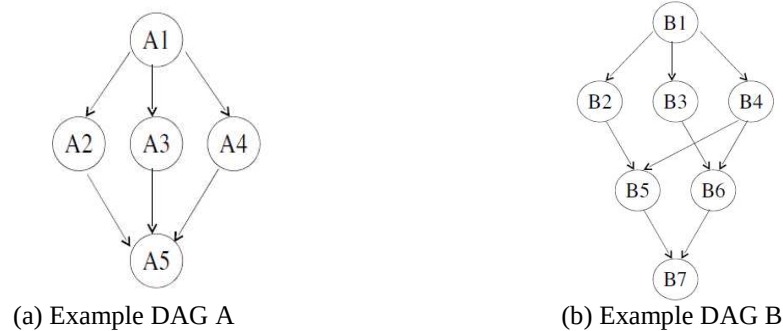


Fig. 1. Two example DAGs

The flowchart of the algorithm is shown in Fig. 2.

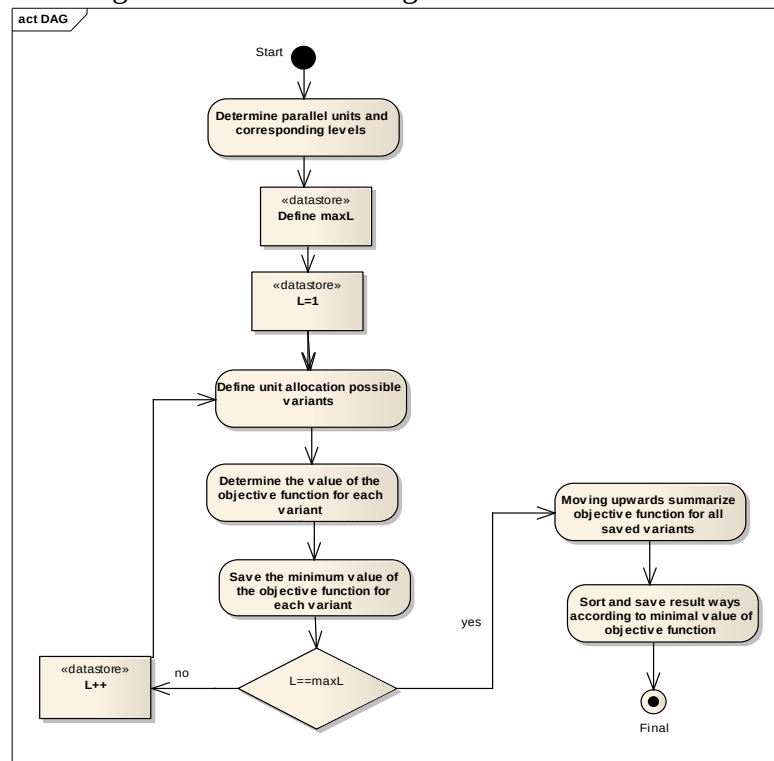


Fig. 2. The QoS-based scheduling algorithm flowchart

As it can be seen from the flowchart that at each level for each allocation variant the optimal solution is saved regarding the allocation cost as well as the cost of interaction with the blocks of the previous levels. Inefficient solutions for each location are discarded and will not be further considered. At the last step of the algorithm the global optimal solution is determined moving backward from the bottom up through the levels. It is recommended to store the allocation plans ordered by the value of the objective function, which can be used for dynamic rescheduling problem if necessary.

The strategy of input queue of tasks processing. We have considered the issues of planning a separate task represented as a workflow at an affordable set of heterogeneous resources. In this section, we will discuss approaches to processing and scheduling of various types of tasks coming into a single input queue of workflow management system.

In [13] the following existing multiple workflow scheduling strategies are presented.

1. Scheduling and execution DAGs that are in the input queue one after another. The disadvantage of this approach is the ineffective grid resources utilization, inability to reflect the priorities and the required level of QoS.

2. Scheduling and execution of DAGs in accordance with the criterion of total estimated runtime. Processing order may be different: the priority for tasks with a minimum execution time or the maximum. Such approach does not solve the problem of effective resources utilization and QoS considering.

3. Combining multiple DAGs into a single DAG with a further usage of existing methods of single workflow task scheduling in a heterogeneous environment.

The following four main approaches of merging DAGs are determined.

1. Policy C1: Combining DAGs by adding a new entry and new exit “empty” nodes. The combining technique application for two DAGs shown in Fig. 1 is presented in Fig. 3.

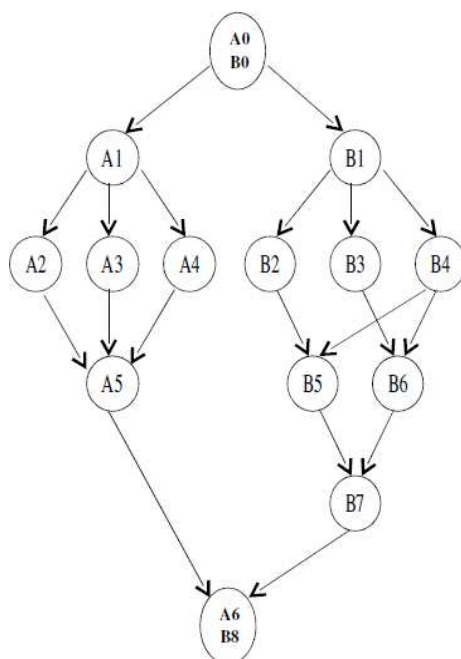


Fig. 3. Common entry and common exit node technique

2. Policy C2: A composite graph is created in the same way as before, but the scheduling is made by the levels for independent parallel tasks (level-based ordering) (Fig. 4).

3. Policy C3: Scheduling and execution of different computational units of workflow tasks occur in the style of round-robin: if on the previous step the task of one workflow was planned and carried out, then on the next step it will be considered as the ready task of another workflow.

4. Policy C4: When combining DAGs into a single workflow structure the estimated execution time of workflow is taken into account and merging by introducing additional nodes occurs at the appropriate level (Fig. 5).

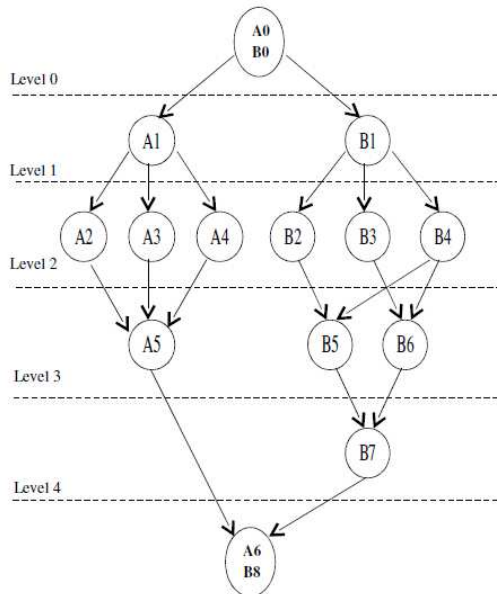


Fig. 4. Level based ordering

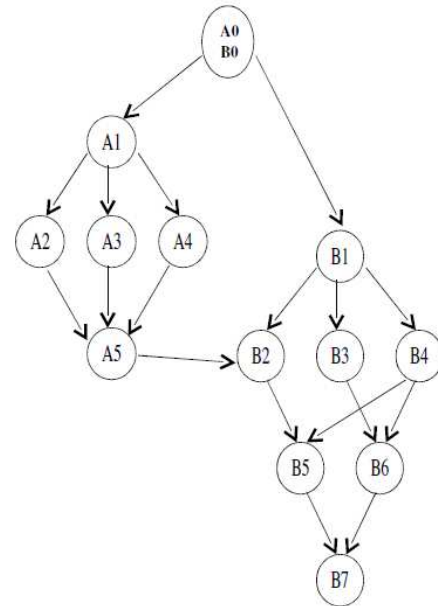


Fig. 5. Ranking based composition technique

Two fairness policies of resources distribution based on calculating the delay of each workflow while choosing the next workflow for scheduling have been introduced in [13].

However the merging DAGs approaches and fairness policies can be applied only to the workflows with the same priorities.

In [14] a ServeOnTime strategy is proposed and its efficiency in comparison with the classical approach FCFS (first come first serve) is shown. The strategy is based on adding the new arrived workflow task to the exiting task of executing workflow. Such an approach ignores the QoS requirements, and underutilized resources associated with the occurrence of "gaps" (waiting for completion of the tasks of the previous level and data transfer). In [15] a GapSearchScheduling algorithm is presented. The algorithm is based on finding and filling such gaps by tasks, the execution time of which is less than the gap size.

In [16] the input queue deadline coordinator structure is presented. The deadline driven (DD) coordinator orders DAGs considering deadlines specified by users. DAG with earlier deadline is processed first. DAG priority is computed inversely to deadline value. The DD-coordinator should verify that the deadline is realistic. However, the solution is not complete. Deadline set by the user must be considered in relation to the estimated execution time and the arrival time of all tasks.

We suggest the following scheme of tasks priority evaluation:

$$P = U_p + 1/t_{in}, \quad (3)$$

where U_p – user task priority set by the policy of appropriate virtual organization;

t_{in} – arrival time of task queued for execution.

When sending a task to perform, the user can set the desired values for the following QoS parameters: restriction to the task time execution (deadline), cost limit of computing (maximal cost), as well as the significance of the coefficients of these parameters.

Taking into account the dynamicity of the grid environment structure, compliance with user-defined QoS-parameters can not be guaranteed, but finding the optimal solutions based on the established significance coefficients is guaranteed. Defining the actual values of QoS parameters is possible by the use of simulation model of task execution process.

Guaranteed compliance deadline is possible only for the tasks submitted with advanced reservation policy, and the preliminary assessment time regarding to the task execution time is set by the workflow management system administrator. In the case of low QoS level of available resources replication approach can be used in addition.

Internal xml task specification format has been developed. The format allows describing the tasks of different types, as well as to determine the volume of data transferred between the computational units of workflow task and periodic synchronization between the parallel blocks. When the task is sent to a specific computing resource the task format is converted to those required by the corresponding middleware.

There are static and dynamic approaches to task scheduling. Static approach assumes the availability of information about the current state of grid-network resources and task's blocks execution sequence prior to computation. Dynamic approach takes into account the dynamic grid-network resources, as well as handles branching in the structure of the problem. However, this greatly complicates the planning process.

The paper introduces the use of a hybrid approach to planning, which is to use static methods for primary distribution, followed by the dynamic regulation of the primary distribution, taking into account the dynamics of the task and the state of network resources. Such a scheme is implemented at the level of the metascheduler through periodic survey of the state of the network resources, task's units execution control and rescheduling tasks when needed.

The system is supposed to have the following task queues.

1) Single Block And Data Parallel Queue – contains the tasks of the first and the second type. In case of the resource failure, the task is resubmitted to the same queue with the highest priority.

2) Workflow Queue – contains workflow tasks.

3) Workflow Tasks Rescheduling Queue – contains computational units of different workflow tasks requiring rescheduling. Computing unit of any workflow is put into this queue if the resource that was scheduled for the unit failed.

Queue processing and tasks scheduling is made in the order of their priorities. Rescheduling is processed first, and the rescheduling task is assigned to a suitable free resource or the nearest "gap" in the schedule of resource employment.

If several tasks have the same priority, they are merged into a single DAG according to the combine policy C4.

Single DAG scheduling is made using the method presented in the previous section, with further drafting task's schedule taking into account the synchronization between units and graphics of resources employment.

While scheduling the workflow if the amount of the free resources is less than the width of the DAG then the estimated execution time on the set of available resources is compared with the estimated execution time on the greatest possible variety of resources. If the difference in execution time is less than the waiting time of deallocation, the task is assigned to the available resources, or the task is waiting for the release of resources employed and the optimal schedule for its implementation since the liberation of resources is prepared.

Single blocks of tasks are assigned either to a suitable free resource, or to the nearest appropriate "gap" in the graph of the resource. "Gap" is considered appropriate if the estimated execution time of the task is less than gap size.

Scheduling algorithms effectiveness evaluation. The experiments were carried out only for the analysis of the effectiveness of the proposed single DAG scheduling method on the available set of resources. Effectiveness evaluation of the proposed strategy for processing the

queue of tasks taking into account the dynamics of their implementation requires additional research.

To investigate the properties of scheduling algorithms the GridSim toolkit [17] was expanded by adding new entities required for modeling the processes of planning and execution of workflows in the grid-environment. The experiments were carried out for randomly generated workflow tasks of varying complexity.

The grid-environment experimental model was presented by four compute nodes with the following characteristics: CE1 = {10 mips, 100, 0, {100, 50}}; CE2 = {25 mips, 100, 0, {100, 20}}; CE3 = {35 mips, 100, 0, {80, 40}}; CE4 = {47 mips, 100, 0, {100, 30}}.

The effectiveness of a scheduling algorithm in the experiments was determined by: 1) the objective function value; 2) the computational complexity of the algorithm. In order to simplify the objective function was defined by task execution time, excluding the economic costs.

Table 5 shows the results of the experiments for the tasks of different complexity and the following scheduling algorithms: 1 - heuristic algorithm HEFT, 2 - scheduling algorithm based on dynamic programming method, 3 - random selection of the resource to perform the task of computing unit, ready to run, excluding the cost of accommodation.

Proposed algorithm showed a higher efficiency for the workflow runtime criterion. Scheduling time of the proposed method is higher than for other algorithms, but it is incomparably less the workflow runtime in the grid-environment that justifies the appropriateness of the proposed solution.

Table 5

Experimental results

Number of nodes	Number of links	Number of levels	Scheduling time, ms	Runtime, s	Algorithm	The ratio of the (number of nodes / number of links)
10	13	5	3	518,4	1	0,769231
25	34	7	9	6859,91	1	0,735294
50	72	9	30	7241,28	1	0,694444
10	13	5	5	408	2	0,769231
25	34	7	12	5833,44	2	0,735294
50	72	9	43	6167,76	2	0,694444
10	13	5	1	576	3	0,769231
25	34	7	5	7873,92	3	0,735294
50	72	9	20	8203,2	3	0,694444

Conclusion. The paper discusses the features of using grid environment to perform various types of computational tasks of high dimension. The metascheduler structure of the centralized workflow management system and two stage scheduling strategy that takes into account QoS requirements, the dynamicity execution and structural features of the task were proposed. The dynamic programming method application to the workflow scheduling problem was shown in the paper. Experimental results proved the effectiveness of the proposed workflow scheduling method. The effectiveness evaluation of the proposed queue processing and rescheduling strategy where not presented in the paper and require additional research. The centralized workflow management system with the proposed strategies of job scheduling was applied for economic and medical high-dimensional tasks execution in grid environment.

References

1. Forti A. DAG Scheduling for grid computing systems / A. Forti // Ph.D. Thesis, University of Udine, Department of Mathematics and Computer Science. – Italy, 2005 – 2006. – P. 43-46, 52-55.

2. *Kazymyr V.* Grid workflow design and management system / V. Kazymyr, O. Prila, V. Rudyi // International Journal "Information Technologies & Knowledge". – 2013. – Vol. 7, № 3. – P. 241-255.
3. *Gerasoulis A.* A comparison of clustering heuristics for scheduling directed acyclic graphs on multiprocessors / A. Gerasoulis, T. Yang // Journal of Parallel and Distributed Computing. – 1992. – № 16. – P. 276 – 291.
4. *Tompkins M.F.* Optimization techniques for task allocation and scheduling in distributed multi-agent operations / M.F Tompkins // Diss. Massachusetts Institute of Technology. – 2003. – P. 20-23.
5. *Job Submission Description Language (JSDL) Specification, Version 1.0, GFD-R.136.* – 2008. – P. 5-10.
6. *Extended Resource Specification Language, Reference Manual for ARC versions 0.8 and above, Nordugrid-Manual-4.* – 2013. – P. 13-28.
7. *Job description language attributes specification for the gLite Workload Management System, WMS-JDL.doc.* – 2011. – P.7-10, 38-40.
8. *Yu J.* Workflow Scheduling Algorithms for Grid Computing, Metaheuristics for Scheduling in Distributed Computing Environments / Yu J., Buyya R., Ramamohanarao K.; Xhafa F., Abraham A. (Ed.). – Berlin, Germany: Springer, 2008. – P. 111-149.
9. *Fangpeng D.* Scheduling Algorithms for Grid Computing: State of the Art and Open Problems / D. Fangpeng, Akl.G. Selim // School of Computing, Queen's University Kingston, Ontario, Technical Report. – 2006. – № 504. – P. 7-32.
10. *Liou J.* CASS: an efficient task management system for distributed memory architectures / J. Liou, M.A. Palis // International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN '97). - Taipei, Taiwan, 1997. – P 289 – 295.
11. *Bajaj R.* Improving Scheduling of Tasks in a Heterogeneous Environment / R. Bajaj, D.P. Agrawal // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. – 2004. – Vol. 15, № 2. – P. 107-118.
12. *Introduction to algorithms, third ed.* / Thomas H.C., Leiserson C.E., Ronald L.R. [et al.]. – [3 ed.]. – Cambridge, Massachusetts London, England: The MIT Press, 2009. – P. 357-414.
13. *H. Zhao, R. Sakellariou:* Scheduling Multiple DAGs onto Heterogeneous Systems. Proceedings of the 20th international conference on Parallel and distributed processing, P. 159-159, April 25-29, 2006.
14. *L. Zhu, Z. Sun, W. Guo, Y. Jin, W. Sun, W. Hu:* Dynamic Multi DAG Scheduling Algorithm for Optical Grid Environment. Network Architectures, Management, and Applications, V 6784(1), 2007.
15. *Bittencourt, L.F., Madeira, E.R.M.:* Towards the Scheduling of Multiple Workflows on Computational Grids. Journal of Grid Computing, 8, pp. 419–441, 2010.
16. *Melnyk A.* Multiple DAGs Scheduling with Deadline Driven Coordinator in Grid / A. Melnyk // Second International Conference "Cluster Computing". – Lviv, Ukraine, 2013. – June 3–5. – P. 127-130.
17. *Buyya R.* GridSim: A Toolkit for the Modeling and Simulation of Distributed Resource Management and Scheduling for Grid Computing / R. Buyya, M. Manzur // The Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience (CCPE). – 2002. – Vol. 14, Is. 13–15. – P. 1179-1219.

РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311

В.И. Скоробогатова, д-р техн. наук

Б.И. Кулик, ассистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА РАБОТЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ РЕАКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МОЩНОСТИ

В.І. Скоробогатова, д-р техн. наук

Б.І. Кулик, асистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМУ РОБОТИ ДІЮЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВРАХУВАННЯМ РЕАКТИВНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОТУЖНОСТІ

Valentina Skorobogatova, Doctor of Technical Sciences

Bogdan Kulik, assistant

Chernigov National Technological University, Chernigov, Ukraine

THE PECULIARITIES OF THE MODE OF OPERATIONS OF ACTIVE ELECTRIC NETWORK WITH REGARD TO THE REACTIVE COMPONENT OF POWER

На примере продолжительного мониторинга режима работы действующей электрической сети предприятия показано наличие высокой динамики нагрузки по реактивной мощности, значительно не совпадающей с динамикой нагрузки по активной мощности, в том числе по монотонности. Предложено ввести и определить группы оценок электрической нагрузки по реактивной мощности в действующей электрической сети, учитывающих характер и параметры нагрузки по реактивной мощности. Результаты работы рекомендуется использовать при алгоритмизации управления режимом работы действующей электрической сети посредством целевого управления потоками реактивной энергии.

Ключевые слова: действующая электрическая сеть, установившийся режим работы электрической сети, дискретные графики электрических нагрузок по мощностям, статистические оценки электрических нагрузок.

На прикладі тривалого моніторингу режиму роботи діючої електричної мережі підприємства показана наявність високої динаміки навантаження по реактивній потужності, яка значно не збігається з динамікою навантаження по активній потужності, у тому числі по монотонності. Запропоновано ввести і визначити групи оцінок електричного навантаження по реактивній потужності в діючій електричній мережі, які враховуватимуть характер і параметри навантаження по реактивній потужності. Результати роботи рекомендується використовувати при алгоритмізації управління режимом роботи діючої електричної мережі за допомогою цільового управління потоками реактивної енергії.

Ключові слова: діюча електрична мережа, сталий режим роботи електричної мережі, дискретні графіки електричних навантажень по потужностям, статистичні оцінки електричних навантажень.

Case study of the long monitoring of the mode of operations of electric network of industry the presence of heavy demand on the reactive power significantly different of heavy demand on an active power, among other on smoothness. It has been suggested that drive in and quantify by evaluation group power load of the reactive power actual power of operations of electric network, taking into account type and conditions of demand on the reactive power. Working results it is a good practice to serve for the algorithmic presentation of the mode control of the operations of electric network by through of management by objective by the current of reactive energy.

Key words: operations active of electric network, steady state operation electrical network, quantified graphic of the chart electric by demand capacity, statistical estimations of the electric demands.

Введение. Реактивная энергия, передаваемая по электрическим сетям, необходима для создания условий работы электроустановок (электрических двигателей, трансформаторов и др.). Передача ее сопровождается дополнительным нагревом токоведущих частей сетевых электроустановок, а значит, и дополнительными потерями активной энергии и напряжения. Снижение последних, наряду с другими техническими мерами, достигается при компенсации реактивной мощности (КРМ). Процедура КРМ применительно к действующим электрическим сетям (ДЭС) включает в себя осуществление целевого управления режимом работы электроустановок, генерирующих реактивную энергию, и режимом работы приемников электроэнергии (одиночных, группы). Критерием эффективности управления служит достижение рациональных значений зависимых параметров

установившегося режима работы сети, в том числе снижение потерь активной энергии и напряжения в ДЭС.

Изложение основного материала. Практика показывает, что электрические нагрузки по активной и реактивной мощностям в ДЭС динамичны и недетерминированы, что значительно осложняет решение задач КРМ. В данной работе это продемонстрировано на примере оценивания энергетического состояния района действующих электрических сетей предприятия «Черниговское Химволокно» с вводными фидерами 21 и 32 распределительной подстанции РП2. В качестве исходных параметров режима работы сети послужили получасовые нагрузки по активной и реактивной мощностям за каждые сутки марта месяца 2007 календарного года. Общее количество получасовых нагрузок по каждой составляющей равно 1448 единицам. Ниже приведена структурированная в табл. 1-5 информация, отображающая режим работы оцениваемой сети.

В графах 3, 4, 5, 6, 7 табл. 1 представлены частичные массивы получасовых электрических нагрузок по реактивной мощности по состоянию на 1, 4, 5, 15, 31 сутки марта месяца (всего 5 суток). Выбор этих массивов сделан из целесообразности демонстрации предельных оценок электрических нагрузок сети (максимум и минимум), приходящихся на март месяц. В графах 8 и 9 табл. 1 представлены статистические оценки получасовых нагрузок, соответствующие одним и тем же временным получасовым интервалам (графа 2) в течение марта месяца. В графе 1 представлена сквозная нумерация временных интервалов, соответствующих реальным интервалам времени суток, приведенным в графе 2. В качестве статистических оценок нагрузок по реактивной мощности взяты среднеарифметические значения получасовых нагрузок (оценки математических ожиданий M_{MP}) и среднеквадратические отклонения от них (σ_{MP}) [1].

Таблица 1

Получасовые электрические нагрузки по реактивной мощности и их месячные статистические оценки

Номер времен- ного ин- тервала	Реальные интервалы времени суток	Получасовые нагрузки по реактивной мощности Q (кВАр) по состоянию на:					M_{MP}	σ_{MP}
		01.03.07	04.03.07	05.03.07	15.03.07	31.03.07		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	23.30-00.00	820	588	808	428	280	668,1	198,3
2	00.00-00.30	816	628	800	456	284	670,3	199,8
...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	03.00-03.30	820	564	772	228	248	631,1	202,4
9	03.30-04.00	760	592	704	184	152	577,7	198,4
10	04.00-04.30	716	524	572	68	36	461,4	212,4
11	04.30-05.00	588	408	488	116	40	447,9	203,4
12	05.00-05.30	680	432	512	64	44	479,5	215,4
13	05.30-06.00	1024	512	632	132	116	591,1	248,7
14	06.00-06.30	1428	640	768	188	228	779,8	280,0
15	06.30-07.00	1392	736	836	272	432	827,9	267,8
16	07.00-07.30	1464	748	848	320	392	846,8	274,9
17	07.30-08.00	1552	756	864	344	436	889,4	273,2
18	08.00-08.30	1576	692	912	372	428	904,8	271,9
...	...	...	...	...	...	...	...	...
38	18.00-18.30	1400	800	1012	928	356	855,2	266,7
39	18.30-19.00	1412	768	1060	884	404	849,9	257,7
40	19.00-19.30	1416	764	1072	852	400	848,5	255,8
41	19.30-20.00	1248	692	996	752	320	781,8	254,5

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	20.00-20.30	1180	604	904	648	184	630,7	270,1
43	20.30-21.00	1148	548	788	584	76	553,2	261,2
44	21.00-21.30	1116	536	700	604	84	547,5	247,7
45	21.30-22.00	944	648	836	716	144	636,6	228,8
46	22.00-22.30	756	812	888	792	232	693,9	206,2
47	22.30-23.00	680	788	800	724	204	629,4	206,2
48	23.00-23.30	688	808	836	720	144	620,5	220,4

В табл. 2 приведены статистические оценки получасовых нагрузок, соответствующие каждому из выбранных суток. В качестве этих оценок взяты также среднеарифметические значения получасовых нагрузок конкретных суток (оценки математических ожиданий M_{cp}) и среднеквадратические отклонения от них (σ_{cp}).

Таблица 2

Суточные статистические оценки получасовых электрических нагрузок по реактивной мощности

Вид статистической оценки	Значение оценки по состоянию на:				
	01.03.07	04.03.07	05.03.07	15.03.07	31.03.07
M_{cp}	1184,1	646,2	859,1	564,3	285,3
σ_{cp}	315,2	135,2	141,9	280,8	123,5

В табл. 3 представлены частичные массивы получасовых электрических нагрузок по активной мощности по состоянию на демонстрационные сутки 1, 4, 5, 15, 31 марта и их месячные статистические оценки (M_{ma} и σ_{ma}), вычисленные по аналогии с вышеприведенными статистическими оценками по реактивной мощности.

Таблица 3

Получасовые электрические нагрузки по активной мощности и их месячные статистические оценки

Номер временного интервала	Получасовые нагрузки по активной мощности Р (кВт) по состоянию на:					M_{ma}	σ_{ma}
	01.03.07	04.03.07	05.03.07	15.03.07	31.03.07		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	3968	2976	3200	2696	2388	3483,6	371,7
2	3928	3052	3216	2740	2380	3486,7	360,1
...	...	...	...	...	...	...	...
8	3872	2888	3084	2500	2260	3356,4	367,3
9	3836	2956	3068	2492	2156	3313,3	383,7
10	3644	2860	2932	2376	1936	3163,0	384,6
11	3572	2704	2820	2292	1920	3136,6	378,3
12	3708	2736	2812	2404	1892	3198,8	408,8
13	4108	2812	2912	2480	2044	3257,3	388,7
14	4420	2969	3152	2580	3240	3507,5	332,5
15	4280	3052	3180	2576	2436	3475,1	388,4
16	4524	3064	3248	2672	2428	3529,3	411,3
17	4524	3128	3300	2704	2472	3631,9	423,6
18	5488	3004	3380	2732	2524	3695,3	414,3
...	...	...	...	...	...	...	...
38	4360	3276	3764	3864	2364	3564,4	408,4
39	4372	3252	3784	3824	2412	3556,1	390,9
40	4436	3260	3784	3808	2400	3554,1	397,0
41	4368	3196	3696	3700	2312	3487,7	413,6

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8
42	4208	3060	3600	3592	2192	3333,9	403,1
43	4188	2988	3512	3508	2108	3279,0	397,7
44	4172	2944	3392	3520	2016	3229,3	395,5
45	4132	3048	3580	3652	2128	3354,1	421,4
46	3984	3224	3652	3808	2336	3443,4	416,6
47	3892	3132	3532	3704	2276	3341,4	424,7
48	3884	3180	3608	3748	2208	3356,8	443,6

В табл. 4 приведены суточные статистические оценки получасовых электрических нагрузок по активной мощности ($M_{сА}$ и $\sigma_{сА}$), вычисленные по аналогии с вышеприведенными статистическими оценками по реактивной мощности.

Таблица 4

Суточные статистические оценки получасовых электрических нагрузок по активной мощности

Статистическая оценка	Значение оценки по состоянию на:				
	01.03.07	04.03.07	05.03.07	15.03.07	31.03.07
$M_{сА}$	4240,8	2974,0	3436,0	3213,1	2328,5
$\sigma_{сА}$	335,4	425,1	305,1	596,1	211,8

В табл. 5 представлены максимальные значения получасовых электрических нагрузок по активной мощности (P_{max}), реактивной мощности (Q_{max}) и полной мощности (S_{max}) с соответствующими им номерами временных интервалов на каждом из выбранных суток.

Таблица 5

Оценки максимальных получасовых электрических нагрузок P_{max} , Q_{max} и S_{max} с соответствующими им номерами временных интервалов на выбранных сутках

Обозначение оценки максимальной нагрузки по мощности	Максимальные получасовые электрические нагрузки за сутки/временной интервал по состоянию на:				
	01.03.07	04.03.07	05.03.07	15.03.07	31.03.07
P_{max} , кВт	5488/18	3360/35	3908/34	3964/34	3240/14
Q_{max} , кВАр	1576/18	836/37	1104/34	952/37	436/17
S_{max} , кВА	5710/18	3447/36	4061/34	4074/34	3248/14

В табл. 1 и 3 заливкой выделены минимальная и максимальная (36 кВАр и 1576 кВАр соответственно) получасовая нагрузка по реактивной мощности, а также минимальная и максимальная (1892 кВт и 5488 кВт соответственно) получасовая нагрузка по активной мощности. Минимальная нагрузка по реактивной мощности составляет 2,3 % от максимальной реактивной, а минимальная нагрузка по активной – 34,5 % от максимальной активной нагрузки. Это служит подтверждением наличия высокой динамики нагрузки сети по реактивной мощности и неустойчивости режима работы ДЭС. Дополнительным подтверждением высокой динамики нагрузки по активной и реактивной мощностям и неустойчивости режима работы ДЭС служит величина их частотных характеристик в течение месяца. Диапазон частотных характеристик получасовых нагрузок как по активной, так и по реактивной мощностям в течение месяца составляет всего 0,00069-0,0094. Частотные характеристики получены по правилу вычисления удельного веса одинаковых (по численным значениям) нагрузок по отношению к общему количеству получасовых нагрузок соответствующего вида (оно равно 1488).

Из табл. 2, 4 видно, что динамика получасовых нагрузок по реактивной мощности существенно выше динамики получасовых нагрузок по активной мощности.

Из табл. 5 видно, что максимальные получасовые нагрузки по активной и реактивной мощностям на каждом из выбранных суток приходятся в основном на разные временные

интервалы: по активной мощности это интервалы 18, 35, 34, 14, а по реактивной – 18, 37, 34, 17. Максимальные получасовые нагрузки по полной мощности приходятся на временные интервалы, которым принадлежат максимальные получасовые нагрузки по активной мощности. При этом имеет место наличие временных интервалов, на которых максимальные получасовые нагрузки по активной и реактивной мощностям не совпадают. Это служит подтверждением того, что графики нагрузок по активной и реактивной мощностям не монотонны. Этот факт не согласуется с утверждением о монотонности графиков нагрузок по активной и реактивной мощностям, положенным в основу работы [2]. Явление немонотонности нагрузок существенно осложняет целевое управление режимом работы средств КРМ.

Выводы. Представленный в данной работе анализ энергетического состояния ДЭС позволяет сделать вывод о необходимости учета динамики реактивной энергии в сети, немонотонности в целом графиков нагрузок по активной и реактивной мощностям и необходимости введения обоснованных оценок электрической нагрузки по реактивной мощности в ДЭС для применения их в целевом управлении реактивной энергией.

Список использованных источников

1. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М. : Высш.шк., 2003. – 479 с.
2. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках / Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок. – М. : Энергоатомиздат, 1968. – № 6. – С. 3-17.

УДК 621.316

О.С. Яндульський, д-р техн. наук

О.В. Хоменко, канд. техн. наук

А.А. Марченко, канд. техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З РОЗОСЕРЕДЖЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ СЕС

А.С. Яндульський, д-р техн. наук

О.В. Хоменко, канд. техн. наук

А.А. Марченко, канд. техн. наук

НТУУ «КПІ», м. Киев, Украина

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ СЭС

Oleksandr Yandulskyi, Doctor of Technical Sciences

Oleh Khomenko, PhD in Technical Sciences

Anatolii Marchenko, PhD in Technical Sciences

NTUU «KPI», Kyiv, Ukraine

THE ANALYSIS OF THE MODES OF ELECTRICAL NETWORKS WORK WITH DISTRIBUTED GENERATION SES

Розглянуто вплив генерації сонячних електростанцій (СЕС) на режими роботи електричної мережі південно-західної частини ОЕС України. Аналізуються рівні напруг і сумарні втрати активної потужності в мережі при зміні генерації СЕС. Використовується програмний комплекс Power Factory.

Ключові слова: електрична мережа, розосереджена генерація, комп'ютерне моделювання, сонячна електростанція, втрати потужності, рівні напруг.

Рассмотрено влияние генерации солнечных электростанций (СЭС) на режимы работы электрической сети юго-западной части ОЭС Украины. Анализируются уровни напряжений и суммарные потери активной мощности в сети при изменении генерации СЭС. Используется программный комплекс Power Factory.

Ключевые слова: электрическая сеть, рассредоточенная генерация, компьютерное моделирование, солнечная электростанция, потери мощности, уровни напряжений.

The influence of solar power generation in modes mains south-western part of energy system of Ukraine. Analyzes the stress level and total active power losses in the network by changing the generation of sun power plant. Used software package Power Factory.

Key words: *electricity grid, dispersed generation, computer modeling, sun power plant, power loss, voltage levels.*

Постановка проблеми. Одним із напрямків модернізації вітчизняної електроенергетики є активне впровадження розподіленої та розосередженої генерації, у тому числі на основі відновлюваних джерел енергії. При цьому виробництво електроенергії переноситься на рівень розподільних мереж, до яких підключені генеруючі установки. Відбувається інтеграція систем децентралізованої генерації в традиційні системи централізованого енергопостачання.

У загальному випадку децентралізована генерація об'єднує в собі розподілену та розосереджену генерацію [1]. Розподілена генерація призначена для безпосереднього задоволення потреб в електроенергії конкретних споживачів, біля яких вона розташована. Розосереджена генерація розміщується у стратегічних місцях мережі зі слабкими електричними зв'язками, недостатньою пропускною здатністю мереж передачі та розподілення електроенергії, в місцях, що значно віддалені від джерел централізованої генерації. Це дозволяє покращити надійність та стабільність роботи енергосистеми. Під час використання відновлюваних джерел енергії як елементів розосередженої і розподіленої генерації, важливим фактором їх розміщення є наявність та можливість використання в достатньому обсязі відповідних природних ресурсів (сонце, вітер тощо).

Останнім часом інтерес до відновлюваних джерел енергії постійно зростає, оскільки в багатьох регіонах вони необмежені. У міру того, як постачання палива стає менш надійним і дорожчим, ці джерела стають усе більше привабливими з економічного та екологічного погляду. У пошуках альтернативних джерел енергії в багатьох країнах світу значну увагу приділяють сонячній енергетиці. За даними [2] в 2011 році загальна потужність СЕС у світі зросла на 70 % і становить 67,4 ГВт. Діючі сонячні електростанції щорічно можуть виробляти близько 80 млрд кВт·г електроенергії. Лідерами у розвитку сонячної енергетики є європейські країни, які забезпечили у 2011 р. 75 % (21 ГВт) світового приросту. Загальна потужність побудованих у Європі СЕС на кінець 2011 р. перевищила 50 ГВт. Вони можуть виробляти більш ніж 60 млрд кВт·г електроенергії. За межами Європи лідером у розвитку сонячної енергетики є Китай. В 2011 р. потужність діючих там СЕС збільшилась до 2,9 ГВт. Інтенсивно розвивається сонячна енергетика в США, будуються нові СЕС в Індії, Тунісі тощо.

Одним із лідерів в розвитку сонячної енергетики в 2011 році стала Україна. Це стало можливим в основному завдяки введенню в експлуатацію в Криму сонячним паркам «Охотніково» (80 МВт) і «Перово» (100 МВт), які стали одними з найбільших у світі. Загальна потужність діючих вітчизняних СЕС перевищила 190 МВт. Продовжується будівництво нових СЕС – у Київській області (42 МВт), у Вінницькій області (1,8 МВт). Планується будівництво шести СЕС у Вінницькій області сумарною потужністю 50 МВт, в Одеській області – близько 10 СЕС загальною потужністю 25-30 МВт. У 2012 році, за даними НЕК "Укренерго", в Україні введено в експлуатацію сонячні електростанції загальною потужністю 130,3 МВт, що збільшило загальну потужність СЕС України до 317,8 МВт. У найближчі роки в Україні планується ведення, крім нині діючих, до 300 МВт нових потужностей в сонячній енергетиці: в Новій Каховці, в Одеській, Херсонській, Миколаївській, Вінницькій та Кіровоградській областях.

Наявність альтернативних джерел енергії спричиняє зміни у структурі енергосистеми і режимах її роботи:

- більшість розподілених джерел електроенергії під'єднанні до розподільної мережі. Це відрізняє її від традиційних енергосистем, в яких баланс енергії підтримується переважно декількома потужними централізованими генеруючими центрами, що під'єднанні до передавальної мережі;

– потужність генерації сонячних джерел електроенергії визначається зовнішніми факторами (насамперед інтенсивністю сонячного випромінювання) і мало залежить від режиму роботи електричної мережі, до якої вони під'єднанні;

– сонячні установки можуть мати коливальний або переривчастий характер генерації потужності. Концентрація великої кількості такого типу джерел може призвести до сильних коливань потужності в енергосистемі, що значно впливає на режими роботи енергосистеми і її стійкість;

– більшість розподілених (відновлюваних) генераторів під'єднанні до мережі за допомогою силових електронних перетворювачів (інверторів), які дуже чутливі до рівнів напруг.

Для якісного оцінювання впливу генерації СЕС на розподільну мережу, треба враховувати такі аспекти функціонування ЕЕС, як контроль напруги та втрати потужності в ній.

СЕС може впливати на зміну напруги двома способами:

– станція працює у взаємозв'язку з місцевим навантаженням, тобто при зміні навантаження в мережі генерація СЕС також змінюється. Такий режим роботи СЕС не створює проблем при традиційних підходах контролю напруги;

– вихідна потужність станції змінюється системами керування незалежно від місцевого навантаження. У цьому випадку РГ може негативно позначитися на функціональності управління напругою мережі. Один із простих підходів до вирішення цієї проблеми – зниження вихідної потужності.

Втрати потужності в мережі залежать від потужності генерації СЕС. Якщо навантаження шин більше або дорівнює потужності джерела на кожній шині, то втрати зменшуються по всіх лініях у розподільній мережі. При збільшенні потужності СЕС відносно навантаження, втрати збільшуватимуться через перерозподіл потоків потужності в мережі. Тому потрібно контролювати процес такого генерування і керувати ним.

Мета статті. У роботі проведено моделювання приєднання сонячних електростанцій до електричної мережі, визначення й аналіз впливу СЕС на рівні напруг та втрати потужності в мережі.

Виклад основного матеріалу. Моделювання та аналіз впливу сонячних електростанцій на режими виконано для електричної мережі 110-35-10(6) кВ південно-західної частини ОЕС України. Вихідна схема мережі включає 38 підстанцій, 190 шин, 55 ліній електропередач, 12 двохобмоткових і 50 трьохобмоткових трансформаторів, 110 вузлів навантажень. Власна генерація у досліджуваному фрагменті електричної мережі відсутня. Зовнішні зв'язки мережі по розрізу 110 кВ і відповідні потоки потужності моделюються підключенням синхронних машин до шин 110 кВ підстанцій Вулканешти, МолдГРЕС, Усатово, Н.Одеська та Арциз-110. Моделюються і аналізуються режими при підключенні СЕС Арциз (40 МВт), Залізничне (40 МВт), Кілія (50 МВт), Рені (40 МВт) та Старокозаче (40 МВт) до шин відповідних підстанцій.

Узагальнена схема досліджуваної електричної мережі з основними результатами розрахунку вихідного усталеного режиму (без підключення СЕС) показана на рис. 1. Ця схема складається з 39 вузлів, що є шинами 110 кВ підстанцій, та 54 віток, які є ділянками ЛЕП 110 кВ.

Розрахунки усталених режимів роботи електричної мережі проводились з використанням програмного комплексу Power Factory [3]. Сумарне надходження потужності в мережу від зовнішніх джерел становить близько 360 МВА. Втрати активної потужності становлять 17,19 МВт. Рівні напруг на шинах 110 кВ підстанцій, де приєднані зовнішні зв'язки мережі, при відсутності власної генерації в ній, значною мірою визначають режими напруг в усій мережі. Рівні напруг тільки на ПС Вулканешти не виходять за допустимі межі, на інших ПС напруги занижені. Введення режиму у допустиму область по напругам можливо застосуванням наявних засобів і методів регулювання напруг [4] і за рахунок використання наявних додаткових генеруючих потужностей.

Моделювання впливу одночасного сумарного покрокового збільшення генерації усіх СЕС від 0 до 200 МВт показує, що режим напруг у більшості контрольних вузлів значно покращується (рис. 2). На шинах 110 кВ ПС Вулканешти напруга залишається у допустимих межах і практично не змінюється.

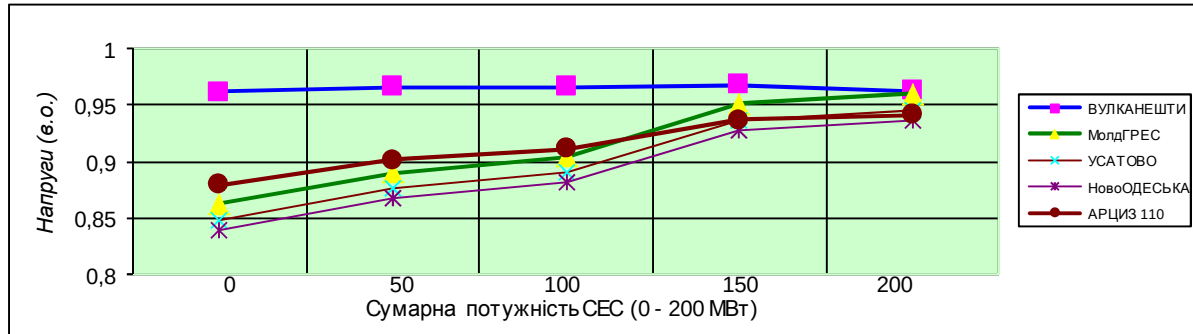


Рис. 2. Вплив сумарної генерації СЕС на напругу

Втрати потужності у мережі при збільшенні сумарної генерації СЕС до 25 % зменшуються, при подальшому її зростанні до максимальної вони значно збільшуються (рис. 3).

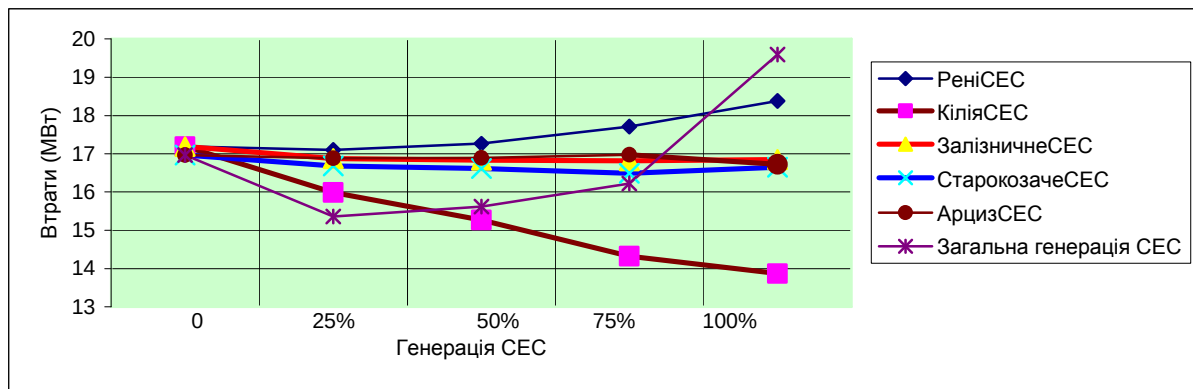


Рис. 3. Вплив генерації СЕС на втрати потужності у мережі

Проведено також аналіз режимів роботи мережі при зміні генерації сонячної електростанції Арциз відповідно до її добового графіка за 28.02.2013 р. Графіки генерації СЕС Арциз сформовані на основі даних системи АСУ ТП пристанційного вузла сонячної станції «Арциз-110». Для прикладу вибрано день, у який була максимальна середня на добу генерація СЕС протягом лютого (рис. 4). Добовий графік генерації СЕС Арциз за 28.02.2013 р. наведений на рис. 5. Показані середні потужності генерації за кожний 60-хвилинний інтервал протягом доби. Зміни потужності генерації СЕС відповідають змінам впливу природних факторів (фактична сонячна інсоляція, хмарність тощо).

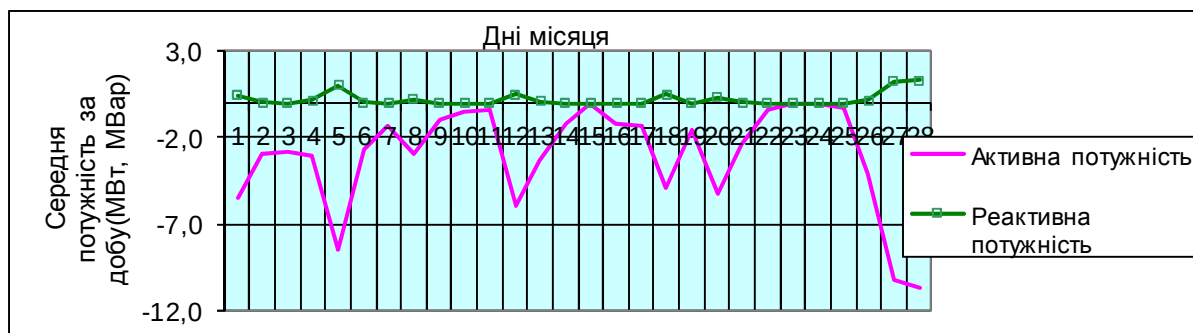


Рис. 4. Середня за добу потужність генерації СЕС Арциз у лютому 2013 р.

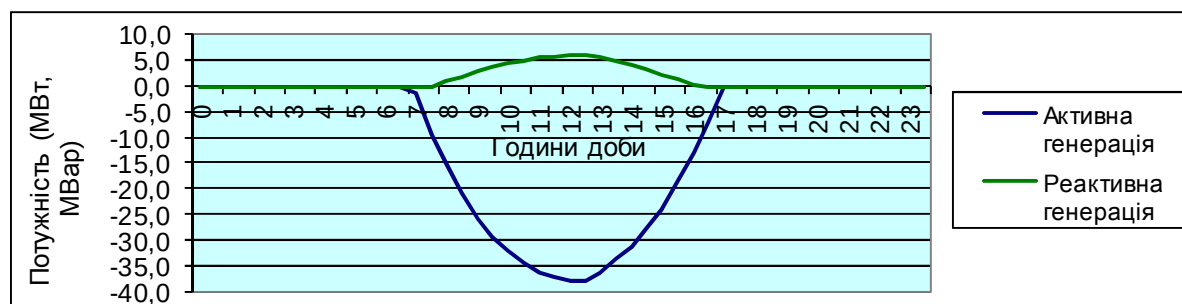


Рис. 5. Генерація СЕС Арциз 28 лютого 2013 р.

Зміни фактичної потужності генерації СЕС Арциз протягом доби практично не впливають на рівні напруг у контрольних вузлах мережі. При цьому сумарні втрати активної потужності в мережі змінюються суттєвіше, збільшуючись від 16,96 МВт до 17,65 МВт при максимальній генерації СЕС (рис. 6).



Рис. 6. Вплив генерації СЕС Арциз 28 лютого 2013 р. на втрати потужності

Висновки. Аналізуючи результати проведених досліджень, можна зробити такі висновки:

1. У вихідному режимі досліджуваної мережі напруги в контрольних вузлах значно занижені. Для введення режиму у допустиму область по напругам доцільне застосування наявних засобів і методів регулювання напруг та використання наявних додаткових генеруючих потужностей.

2. Зміна генерації кожної окремої СЕС дуже мало впливає на рівні напруг у вузлах мережі, призводячи до незначного їх збільшення. Для введення режиму у допустиму область цих потужностей недостатньо.

3. Вплив активної генерації СЕС на втрати активної потужності в мережі різнонаправлений: при збільшенні генерації РеніСЕС втрати зростають, збільшення генерації КіліяСЕС призводить до значного зменшення втрат в мережі. Генерація інших СЕС на величину втрат практично не впливає.

4. Одночасне збільшення сумарної генерації всіх СЕС значно покращує режим напруг у мережі. Перерозподіл потоків потужностей у мережі при цьому призводить до збільшення сумарних втрат активної потужності при максимальній сумарній генерації;

5. Фактична генерація СЕС Арциз практично не впливає на рівні напруг у мережі і збільшує втрати активної потужності в ній.

Список використаних джерел

1. Праховник А. В. Інтегроване ресурсне планування енергозабезпечення [Електронний ресурс] / А. В. Праховник, О. В. Кулик. – Режим доступу : http://esco-ecosys.narod.ru/2006_5/art_09.doc.
2. Закапивный Н. Место под солнцем [Электронный ресурс] / Н. Закапивный // Солнечная энергетика. Фотовольтаика и гелиоэнергетика – новости, интервью, бизнес и технологии, анализ тенденций и перспектив. – Режим доступа : http://solareview.blogspot.com/2012/04/blog-post_04.html.

3. *DIgSILENT* GmbH *DIgSILENT* Power Factory version 13.1. Power Factory Manual, Germany, 2005 – 738 с.

4. *Грабко В. В.* Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН : монографія / В. В. Грабко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 109 с.

УДК [621.3:004.031.6](043.2)

А.С. Ревко, канд. техн. наук

Р.Д. Єршов, аспірант

Д.О. Наумов, магістрант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В СИСТЕМАХ РОЗПОДІЛЕНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО АЛГОРИТМУ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ, ЯКИЙ ПРАЦЮЄ У СКЛАДІ ВБУДОВАНОЇ СИСТЕМИ

А.С. Ревко, канд. техн. наук

Р.Д. Ершов, аспірант

Д.А. Наумов, магістрант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЁННОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНИРОВАННОГО АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КОТОРЫЙ РАБОТАЕТ В СОСТАВЕ ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ

Anatolii Revko, PhD in Technical Sciences

Roman Yershov, PhD student

Dmytro Naumov, Master's Degree student

Chernihiv National University of Technology, Chernihiv, Ukraine

ENERGY EFFICIENCY ANALIZYNG IN DISTRIBUTED POWER SYSTEMS BY DINT OF COMBINED ALGORITHM WHICH IS A PART OF EMBEDDED SYSTEM

Розглянуто сучасні проблеми аналізу енергоефективності та електромагнітної сумісності в Україні. Запропоновано використання комбінованого алгоритму на основі PQ-теорії та швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) для аналізу параметрів електричної енергії та складових потужності; запропоновано архітектуру вбудованої системи для енергоефективності у «розумних мережах» за змодельованим алгоритмом.

Ключові слова: PQ-теорія, ШПФ, потужність, вбудована система, «розумні мережі».

Рассмотрены современные проблемы анализа энергоэффективности и электромагнитной совместимости в Украине. Предложено использование комбинированного алгоритма на основе PQ-теории и быстрого преобразования Фурье (БПФ) для анализа параметров электрической энергии и составляющих мощности; предложена архитектура встраиваемой системы для анализа энергоэффективности в «умных сетях» на основе смоделированного алгоритма.

Ключевые слова: PQ-теория, БПФ, мощность, встраиваемая система, «умные сети».

Modern problems of energy analysis and electromagnetic compatibility in Ukraine is analyzed. The use of combined algorithm based both on PQ-theory and the Fast Fourier Transform (FFT) analysis of electric energy parameters and power components is given. The architecture of embedded system for the analysis of energy efficiency in "smart grids" based on previously simulated algorithm is proposed.

Key words: PQ-theory, FFT, power embedded system, "smart grid".

Вступ. Останніми роками в Україні спостерігається стрімке зростання рівня споживання електричної енергії населенням. Однією з основних причин цього є збільшення кількості побутових електроприладів у споживачів і, як наслідок, збільшення вірогідності одночасного вмикання великої кількості їх у мережу. Як відомо, не лише якість електричної мережі впливає на роботу приладу, а й сам прилад вносить до мережі завади та погіршує якість електричної енергії, причому кожний тип побутового приладу має унікальний спектр струму споживання, а, отже й завад. Навіть використання приладу, який відповідає всім нормам електромагнітної сумісності (ЕМС), не гарантує того, що

використання декількох таких приладів, згідно з принципом накладання спектрів, не призведе до субгармонійних спотворень у мережі, які виходять за допустимі значення. На сьогодні майже кожен побутовий прилад має активний чи пасивний мережевий фільтр, декілька імпульсних перетворювачів, також у навантаженні присутня нелінійна індуктивна складова [1].

Гостро стоїть питання електромагнітної сумісності споживачів та великої кількості різнотипних (відновлюваних, автономних) джерел електричної енергії [2]. Згідно з вимогами, які знайшли своє відображення в європейських стандартах [3; 4; 5], та рекомендаціями, сформованими в межах концепції МЕК, у кожного споживача, сумарний струм споживання якого перевищує 16 ампер на фазу, необхідна система контролю емісії гармонік струму від споживача у мережу [6]. Також нині актуальне питання діагностики [7] та контролю складу потужності в мережах низької напруги [8].

Метою цієї статті є огляд вищезгаданих проблем, дослідження методів реалізації математичного апарату розрахунку потужності та спектрального складу напруг та струмів у мережі, на основі якого запропонована апаратно-програмна реалізація обчислень на основі вбудованої системи.

Огляд наявних рішень. У статтях [9; 10; 11] проблеми високого рівня неосновних гармонік у мережі живлення та великої складової реактивної потужності вирішуються використанням активних силових фільтрів, що значно підвищує ККД системи. Запропоновані методи компенсації ґрунтуються на одній з сучасних теорій потужності [12], а саме PQ-теорії. Ця теорія була запропонована в роботах [13;14] і мала застосування у багатьох сучасних вітчизняних та іноземних працях [15; 16].

Суть PQ-теорії полягає у розрахунку моментальних значень активної та реактивної потужності через матричне перетворення, але на відміну від інших теорій, розрахунок проводиться в $\alpha\beta$ -координатах, які отримуються за допомогою перетворення Кларка [12; 17]. Миттєві напруги та струми мережі в базисі $\alpha\beta$ визначаються як (1) та (2):

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_0 \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} u_{la} \\ u_{lb} \\ u_{lc} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} i_{la} \\ i_{lb} \\ i_{lc} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де T – ядро перетворення, що представляється у вигляді матриці:

$$T = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Варто зауважити, що перетворення Кларка залежно від застосування має декілька варіантів запису матриці ядра i , як наслідок, декілька варіантів розрахунку. Результат розрахунку по кожній реалізації має різний фізичний зміст, що може заплутати дослідника та інженера.

Наприклад, наведений вище запис перетворення Кларка дозволяє отримати реактивну потужність, що споживається з мережі. Змінений порядок запису змінних та інше ядро T у поєднанні зі змінним порядком розрахунку [8] дозволяють отримати реактивну потужність, що повертається у мережу:

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = T' \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = T' \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$T' = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Відповідно, миттєві значення активної та реактивної потужності (9):

$$P = u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta, \quad (7)$$

$$Q = u_\alpha i_\beta + u_\beta i_\alpha, \quad (8)$$

$$P_0 = u_0 i_0. \quad (9)$$

Більшість пристроїв локальної нормалізації параметрів електричної енергії користуються саме принципом компенсації миттєвих значень реактивної потужності [18], що покращує загальні характеристики і ККД загалом на декілька відсотків [8], але не дає повної картини стану якості електричної енергії в мережі, що з погляду глобальної корекції якості електричної енергії є не зовсім правильним. Для цього необхідно постійно отримувати та аналізувати не лише дані про повну потужність та її складові, а й описані в [19] величини гармонік, коефіцієнт гармонійних спотворень та комплексну амплітуду. Водночас для джерела залишається маловідомим стан споживача електричної енергії, а також процеси, що протікають у ньому, що призводить до нестабільної роботи та виникнення різних аварійних ситуацій. Можна припустити, що використання класичного підходу, який ґрунтується на визначенні тільки складових потужності та їх компенсації, не може задовольнити потреби енергетичної мережі нового покоління.

Схожа проблема була розглянута у [24] і як часткове вирішення запропоновано використовувати швидке перетворювання Фур'є для отримання зазначених вище характеристик електричної енергії. Напруги і струми при цьому записуються у вигляді (10) та (11), а повна потужність – у вигляді (12):

$$V = A + j \cdot B_n, \quad (10)$$

$$I = C + j \cdot D_n, \quad (11)$$

$$S = V \cdot I = P + j \cdot Q. \quad (12)$$

У формулах (10)–(12) A та C – комплексні амплітуди фазних напруг і струмів, B та D – їх фазові зсуви відповідно.

Активна (13) та реактивна (14) складові потужності за спектром будуть обчислюватися таким чином:

$$P_{\text{sum}} = \sum_{n=1}^{N/2} (A_n \cdot C_n + B_n \cdot D_n), \quad (13)$$

$$Q_{\text{sum}} = \sum_{n=1}^{N/2} (B_n \cdot C_n + A_n \cdot D_n). \quad (14)$$

Остаточно отримаємо:

$$P = P_{\text{sum}} \cdot GF_I \cdot GF_U, \quad (15)$$

$$Q = Q_{\text{sum}} \cdot GF_I \cdot GF_U, \quad (16)$$

де GF_I та GF_U – коефіцієнти, які враховують максимальні значення струмів і навантажень, обумовлені параметрами давачів, розрядністю АЦП та кількістю точок у перетворенні Фур'є. Вони визначаються експериментально.

Перевага цього методу полягає в тому, що крім потрібних параметрів, ми одразу отримуємо спектральний склад потужності і можемо виконувати аналіз і діагностику енергії в мережі у реальному часі. До недоліків варто віднести те, що з аналітичного погляду ми отримуємо не миттєві значення, а усереднені за час накопичення вибірки.

Мета дослідження. Подальші дослідження, висвітлені в цій статті, зосереджені на теоретичних та прикладних аспектах розробки такої системи, яка:

- дозволить отримувати всі необхідні нормуючі показники якості мережі в реальному часі;
- дасть змогу обчислювати як спектральні характеристики, які є усередненими за час накопичення вибірки, так і миттєві значення складових потужності;
- відповідатиме встановленим нормам [19] та матиме можливість інтегрування до інтелектуальної мережі SmartGrid [20; 21; 22];
- у подальшому буде придатною для виконання функцій ланки збору та оброблення даних у складі інтелектуальної системи керування активними фільтрами-компенсаторами [23].

Як зазначалося в [20], складна електрична мережа нового покоління повинна складатися з двох загальних мереж – електричної та інформаційної. Сучасним електричним мережам багатьох країн та України загалом необхідна модернізація. Цей процес потребує величезного обсягу часових, фінансових та людських ресурсів, тому замість створення нової інформаційної мережі для спостереження за електричними параметрами можна використати вже наявну глобальну мережу Інтернет. Цей крок дозволить повністю сконцентрувати зусилля на модернізації електричної мережі будь-якого масштабу. Описана вище система повинна стати сполучною ланкою між мережею, споживачами та засобами коректування збурень.

Постановка та проведення моделювання. У середовищі MATLAB розроблена система, що реалізує алгоритми розрахунку миттєвих значень повної потужності та її активної та реактивної складових за методом PQ-теорії при двох різних типах навантаження (рис. 1). Збір даних і розрахунок потужностей проводиться у блоці «Measurment subsystem», що поєднав у собі давачі струму і напруги, вузол перетворення Кларка і матричні операції над значеннями в $\alpha\beta$ -координатах.

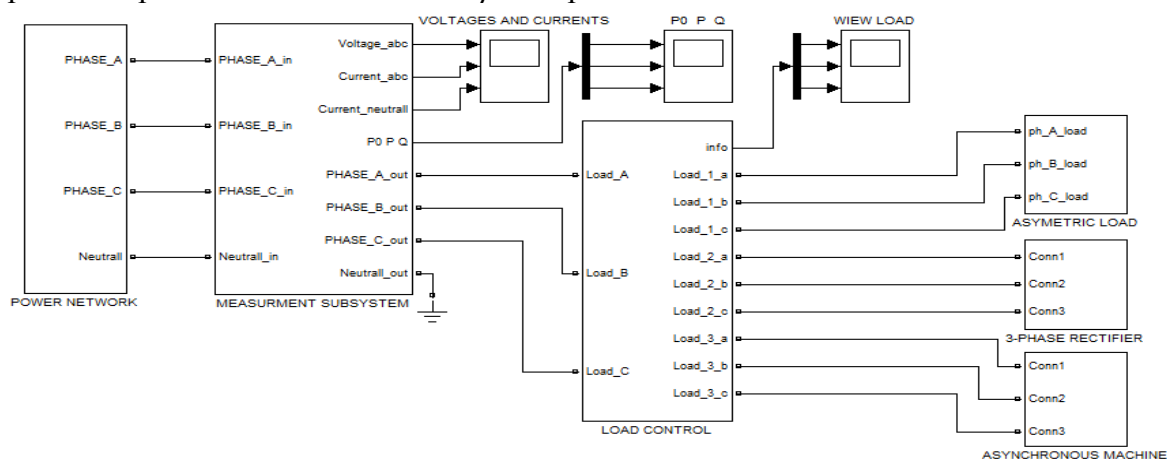


Рис. 1. Модель системи у MATLAB

Як навантаження були обрані декілька типових навантажень для трьохфазних мереж: асиметричне навантаження типу «зірка», трифазний випрямляч з RC навантаженням та асинхронний двигун (рис. 2).

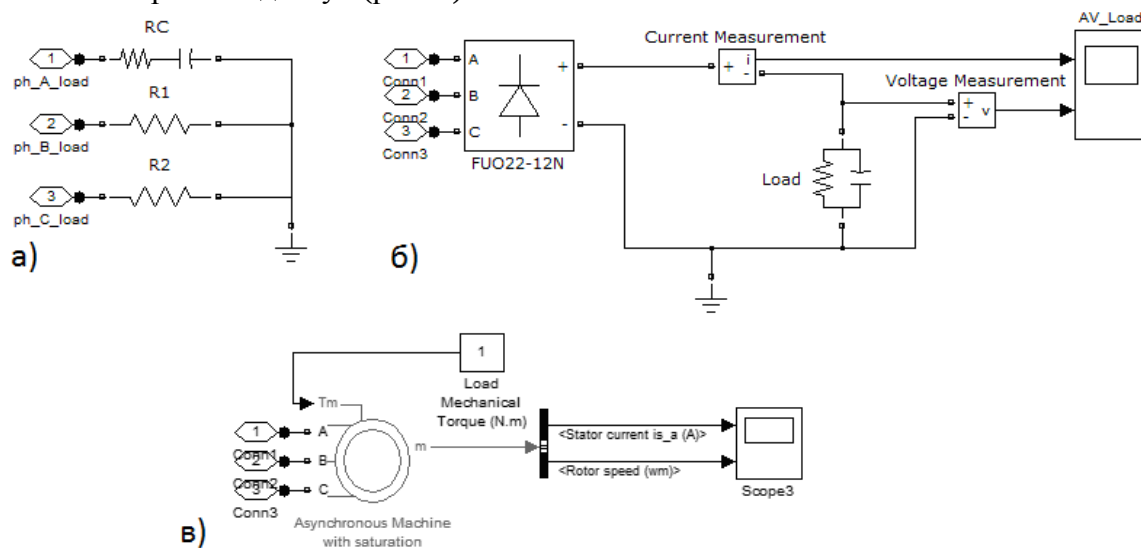


Рис. 2. Типові навантаження мережі:

а – асиметричне навантаження; б – трифазний випрямляч з RC-навантаженням; в – асинхронний двигун

Алгоритм розрахунку підтверджений результатами, отриманими за двома видами перетворення Кларка. Також створений блок комутації Load control, що дозволяє задавати час та тривалість включення навантажень у мережу. На рис. 3 наведені часові межі вмикання навантажень. Для цієї моделі були отримані такі значення активної та реактивної складових потужності (рис. 3).

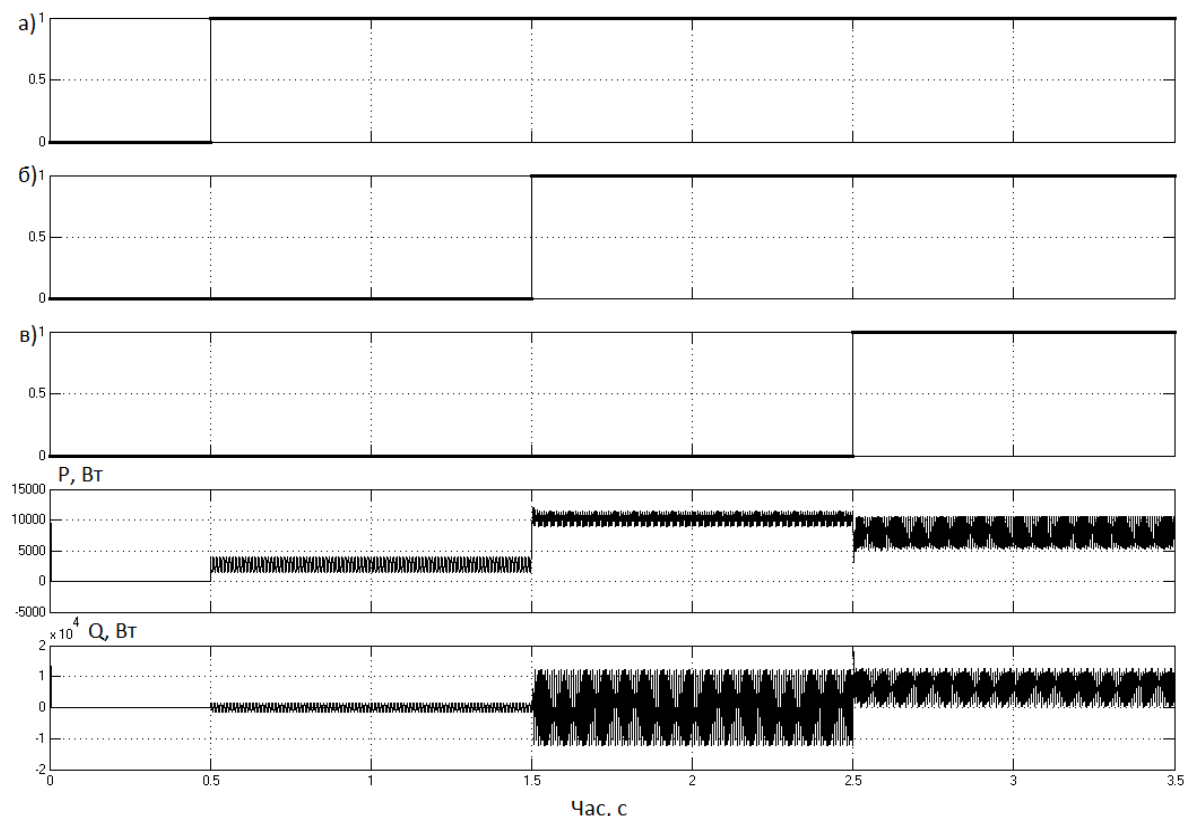


Рис. 3. Зміна активної і реактивної складової потужності залежно від різних навантажень, розрахована за PQ-теорією

Далі до наявної моделі доданий блок аналізу даних на базі ШПФ. Частота дискретизація вхідних сигналів (напруг і струмів) була обрана із розрахунку (17).

$$f_{\text{дискр}} = 2 \cdot f_{\text{осн}} \cdot N_{\text{max}} \cdot K_{\text{зан}}, \quad (17)$$

де $f_{\text{осн}}$ – частота основної гармоніки (50 Гц);

N_{max} – номер максимальної гармоніки, що за [0] дорівнює 40;

$K_{\text{зан}}$ – коефіцієнт запасу, дорівнює 2,5 (обрано з практичних міркувань).

$$f_{\text{дискр}} = 2 \cdot 50 \cdot 40 \cdot 2,5 = 10 \text{ (кГц)}.$$

Відмінності між отриманими результатами полягають у тому, що при розрахунках за першим методом ми отримуємо миттєві значення, а за другим – усереднене значення за проміжок часу, обумовлений частотою дискретизації вхідних даних та розміром буферу вибірки. Цей факт може бути повністю знівелюваний обранням оптимального розміру вхідного буферу для швидкого перетворення Фур'є (рис. 4). В обох експериментах як вхідні дані для розрахунку використовуються значення фазних токів і напруг.

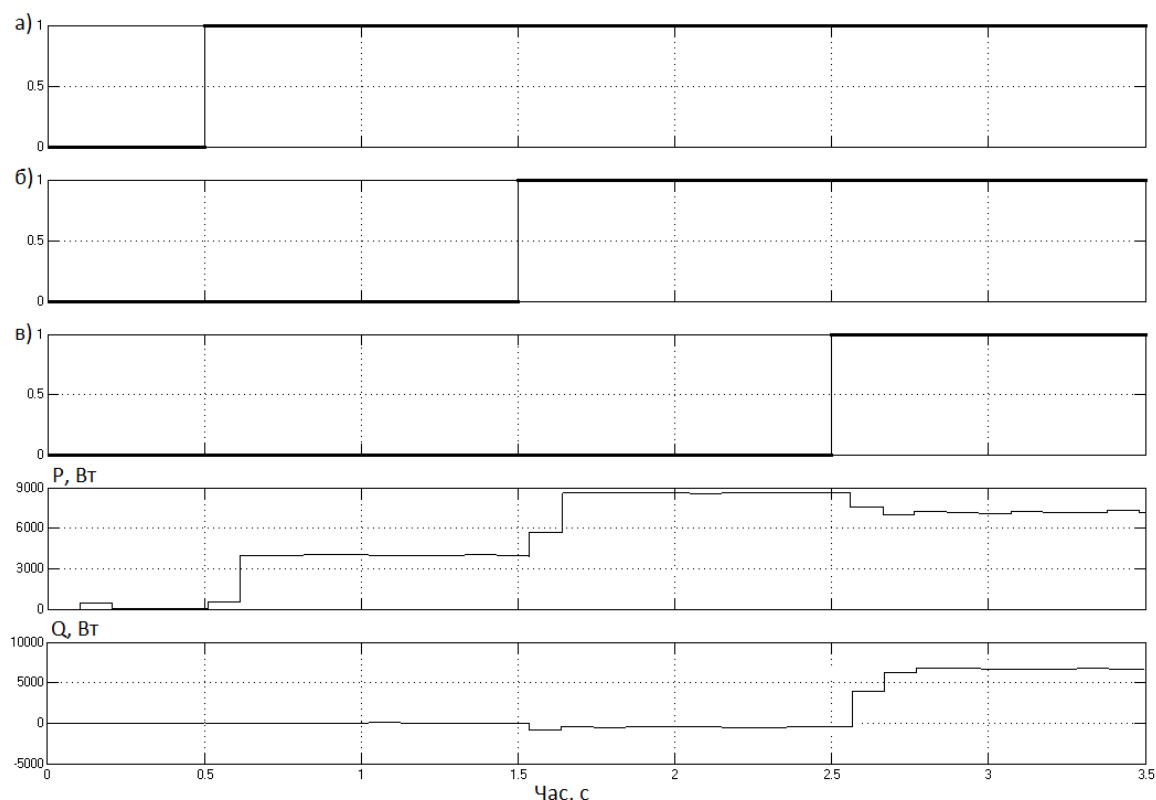


Рис. 4. Зміна активної і реактивної складової потужності залежно від різних навантажень, розрахована за допомогою ШПФ-аналізу

Наявність значень активної потужності за відсутності навантажень у початковий момент пояснюється недосконалістю математичного моделювання. Це відображається на обох моделюваннях – RQ-теорії та ШПФ. У першому випадку пік не помітний через його малий час опрацювання. В другому ж, опрацьовується вибірка даних, в які увійшов цей пік і відобразився на графіках.

Для вибору оптимального обсягу вибірки та перевірки залежності величин похибок від частоти дискретизації створено скрипт у середовищі MATLAB, що проводить дослід з визначення похибок обрахунку активної складової потужності при асиметричному навантаженні за різних значень частоти дискретизації та обсягу вибірки. За вихідні дані була прийнята мінімально необхідна частота дискретизації $f_{\text{дискр}} = 10 \text{ кГц}$ (17), об-

грунтована вище, і мінімальне значення обсягу вибірки, яке дорівнює 32, адже у разі вибору меншого значення ми повністю втрачаємо можливість отримання спектральних складових фазних струмів і напруг. У ході експерименту значення частоти поступово збільшувалось втричі від вихідного із заданим кроком, а розмір вибірки – у 64 рази. Отримані результати для значень відносної похибки та середньоквадратичного відхилення наведено на рис. 5.

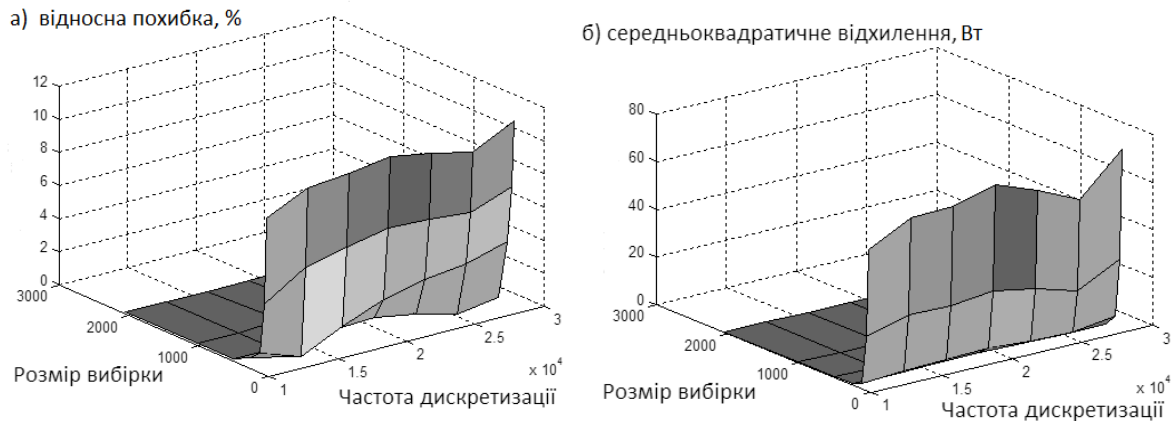


Рис. 5. Залежність від розміру вибірки та частоти дискретизації:
а) відносної похибки; б) середньоквадратичного відхилення

Отримані діаграми показали, що на похибку значною мірою впливає обсяг вибірки – зі збільшенням вибірки точність відчутно зростає. Раптове зменшення похибки на деяких частотах можна пов'язати із конкретним типом навантаження, але загальний результат дозволяє отримати відносну похибку на рівні 0,8 %, що практично вдвічі краще аналогічних даних, отриманих за допомогою PQ-теорії (1,4 %).

Для порівняння з моделюванням у MATLAB алгоритм визначення складу потужності на основі швидкого перетворення Фур'є був реалізований ще й мовою програмування С. Отримані результати тестування цього алгоритму ідентичні результатам, що отримані за допомогою моделі у MATLAB, це підтверджує достовірність реалізації.

Реалізація алгоритму моделі. Для апаратної платформи оптимальним вирішенням є вбудована система на основі операційної системи Linux. Така реалізація надає гнучкості системі (просту зміну та модернізацію алгоритмів обчислення), потрібну для ШПФ обчислювальну потужність, а модульна структура і широкий набір комунікативних можливостей дозволяють інтеграцію в інформаційну та електричну мережі будь-яких рівнів та масштабів.

Модуль збору даних (рис. 6) складається з гальванічно розв'язаних від мережі та один від одного давачів фазних струмів і напруг. Для підвищення завадостійкості пропонується розташування блоків АЦП і формування пакетів даних для передачі якомога ближче з давачами.

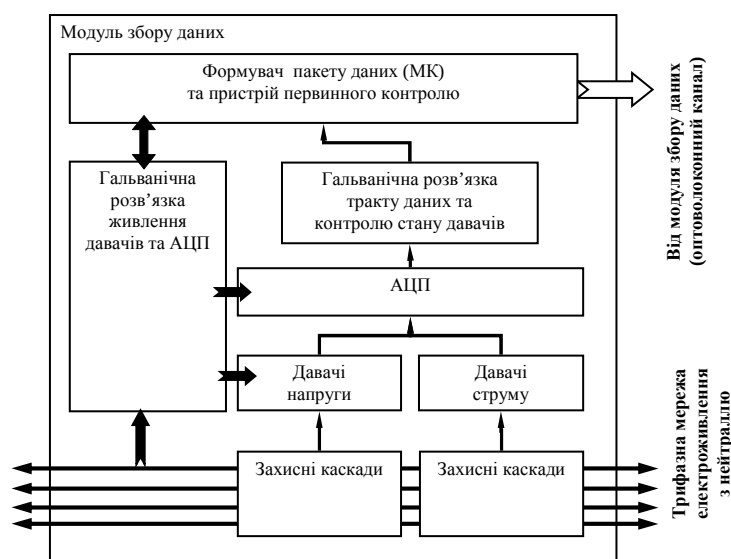


Рис. 6. Архітектура модуля збору даних

Архітектура модуля оброблення даних представлена на рис. 7. Загалом вона може бути реалізована на основі «системи на кристалі» (System on Chip, SoC) [24; 25; 26] і відповідати всім поставленим цілям і вимогам.

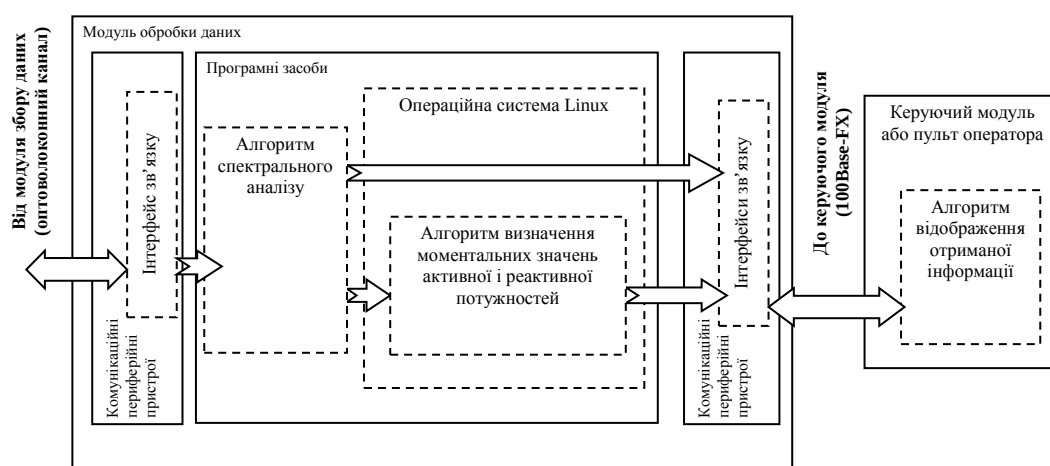


Рис. 7. Архітектура модуля обробки даних

Як тракт передачі даних, з огляду на можливі сильні перешкоди від роботи споживачів (наприклад, декількох потужних асинхронних двигунів), необхідно використовувати оптичне волокно; це надасть найвищий ступінь захисту від зовнішніх збурень і велику полосу пропускання.

Для протоколу передачі розрахуємо мінімальну полосу пропускання, необхідну для системи за формулою (18):

$$B = 2 \cdot K_{\text{АП}} \cdot \left(\sum_{i=1}^{N_{\text{ДС}}} f_{Si}^{\text{ДС}} \cdot B_i^{\text{ДС}} + \sum_{j=1}^{M_{\text{ДН}}} f_{Sj}^{\text{ДН}} \cdot B_j^{\text{ДН}} \right), \quad (18)$$

де $N_{\text{ДС}}$ – кількість давачів струму, 4 давачі;

$M_{\text{ДН}}$ – кількість давачів напруги, 3 давачі;

$f_{Si}^{\text{ДС}}$ – частота вибірки давачів струму;

f_{sj}^{DH} – частота вибірки давачів напруги;

B_i^{DC} – розрядність АЦП давачів струму;

B_j^{DH} – розрядність АЦП давачів напруги;

$K_{зАП}$ – коефіцієнт запасу.

За частоту вибірки давачів, виходячи з діаграм на рис. 5, прийmemo 20 кГц, розрядність АЦП прийmemo 16 біт.

$$B = 2 \cdot 2,5 \cdot \left(\sum_{i=1}^4 2 \cdot 10^4 \cdot 16 + \sum_{j=1}^3 2 \cdot 10^4 \cdot 16 \right) = 1,4 \left(\frac{\text{Мбайт}}{\text{сек}} \right) = 11,2 \left(\frac{\text{Мбіт}}{\text{сек}} \right).$$

Високі вимоги до полоси пропускання у сукупності зі значним рівнем завад біля дрітів мережі підтверджують раніше висунуту вимогу щодо вибору оптоволоконного варіанта реалізації фізичного рівня інтерфейсу зв'язку між модулями збору і оброблення даних.

Висновки. Проаналізувавши проблеми енергоефективного використання електричної енергії та заходів з дотримання електромагнітної сумісності в Україні та проблеми включення пристроїв компенсації реактивної потужності в інформаційну мережу, запропоновано використання комбінованого алгоритму на основі швидкого перетворення Фур'є та PQ-теорії потужності

Аналіз моделювання цього алгоритму демонструє збільшення точності розрахунків майже у 2 рази, при чому інформативна цінність про енергоефективне використання електричної енергії теж зростає – крім активної і реактивної складової, ми отримуємо спектральний склад фазових струмів і напруг у реальному часі. Ці факти підтверджують можливість інтегрування вбудованих систем на основі цього алгоритму до електричних мереж нового покоління, а програмна реалізація робить це можливим.

Результати двопараметричного експерименту дозволяють обрати оптимальні значення розміру вибірки та частоти дискретизації за критерієм середньої похибки та її дисперсії. Використання вбудованих систем як платформи для реалізації алгоритму на основі ШПФ є ефективним.

Список використаних джерел

1. *Жаркин А. Ф.* Математическая модель низковольтной сети с нелинейными нагрузками / А. Ф. Жаркин, В. А. Возный, П. С. Бойко // Технічна електродинаміка. Тем. випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2003. – Ч. 1. – С. 117-119.
2. *Задачі забезпечення електромагнітної сумісності потужного електроенергетичного обладнання і електричних мереж ОЕС України* / О. В. Кириленко, С. П. Денисюк, О. Ф. Буткевич, О. Б. Рибіна // Технічна електродинаміка. Тем. випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2010. – Ч. 1 – С. 21-30.
3. *ДСТУ ІЕС 61000-2-2:2001.* Електромагнітна сумісність. Частина 2-2. Електромагнітне оточення. Розділ 2. Рівні сумісності для низькочастотних кондуктивних завад та сигналів систем передавання в низьковольтних електропостачальних системах загального призначення.
4. *ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2008.* Електромагнітна сумісність. Частина 3-2. Норми. Норми на емісію гармонік струму (для сили вхідного струму обладнання не більше 16 А на фазу) (ІЕС 61000-3-2:2005, IDT).
5. *ДСТУ ІЕС 61000-3-12:2009.* Електромагнітна сумісність. Частина 3-12. Норми. Норми на гармоніки струму, створені обладнанням із номінальним вхідним струмом силою понад 16 А та до 75 А включно на фазу, підключеним до низьковольтних електропостачальних систем загальної призначеності (ІЕС 61000-3-12:2004, IDT). – Чинний з 1 січня 2012 року.
6. *Жаркин А. Ф.* Европейская практика обеспечения предельно-нормовых уровней гармоник напряжения в электрических сетях / А. Ф. Жаркин, В. А. Новский, С. А. Палачев // Технічна електродинаміка. тем. випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2008. – Ч. 1. – С. 89-92.

7. Липковий К. А. Устройства нормализации параметров электроэнергии на электрорынке Украины / К. А. Липковский, О. В. Лялько, А. Г. Можаровский // Технічна електродинаміка. – 2002. – Ч. 2. – С. 120-126.
8. Жемеров Г. Г. Уменьшение потерь и улучшение качества электрической энергии в системах коммунального электроснабжения / Г. Г. Жемеров, Н. А. Ильина, О. В. Ильина // Технічна електродинаміка. – 2008. – Ч. 1. – С. 80-87.
9. Жемеров Г. Г. Мгновенные и средние активные и реактивные мощности в линейных цепях с синусоидальными напряжениями / Г. Г. Жемеров, Д. В. Тугай // Вестник НТУ ХПИ. Вып. 43. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". – Х., 2004. – С. 135-141.
10. Домнин И. Ф. Активные и реактивные мощности в трёхфазных четырёхпроводных сетях с асимметричной нагрузкой / И. Ф. Домнин, Г. Г. Жемеров, О. В. Ильина // Технічна електродинаміка. Тем. випуск. "Силовая електроніка та енергоефективність". – 2005. – Ч. 4. – С. 44-49.
11. Энергоэффективность коррекции фазы тока и компенсации пульсаций активной и реактивной мощностей в трёхфазных системах электроснабжения / И. Ф. Домнин, Г. Г. Жемеров, О. В. Ильина, Д. В. Тугай // Технічна електродинаміка. Тем. вип. – 2007. – Ч. 1. – С. 52-59.
12. Современные теории мощности и их использование в преобразовательных системах силовой электроники / И. Ф. Домнин, Г. Г. Жемеров, Д. С. Крылов, Е. И. Сокол // Технічна електродинаміка. – 2004. – Ч. 1. – С. 89-91.
13. H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae Generalized theory of the instantaneous reactive power in three phase circuits // IPEC. – 1983. – P. 1375-1386.
14. Y. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components // IEEE Trans. Ind. Appl. – 1984. – Vol. 20. – P. 625-630.
15. Leszek S. Czarnecki K. Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2006. – Vol. 21. – P. 362-367.
16. João L. Afonso, M. J. Sepúlveda Freitas, Júlio S. Martins P-Q Theory Power Components Calculations // ISIE'2003 - IEEE International Symposium on Industrial Electronics. – 2003. – P. 1-8.
17. Жемеров Г. Г. Система составляющих полной мощности и энергетических коэффициентов на основе p-q-г теории мощности / Г. Г. Жемеров, Д. С. Крылов // Техн. електродинаміка. Тем. випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2004. – Ч. 1. – С. 80-91.
18. Липковский К. А. Устройства нормализации параметров электроэнергии на электрорынке Украины / К. А. Липковский, О. В. Лялько, А. Г. Можаровский // Техн. електродинаміка. Тем. випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2002. – Ч. 1. – С. 120-126.
19. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введен в Украине 01.01.2000. – (Межгосударственный стандарт).
20. Иванец С. А. Розвиток електроенергетики на базі концепції "інтелектуальних" електричних мереж "SMART GRID" / С. А. Иванец, О. В. Красножон // Вісник ЧДТУ : збірник наукових праць. – Чернігів : ЧДТУ, 2013 – № 63. – С. 167-177.
21. Qiang Sun, Xubo Ge, Lin Liu, Xin Xu, Yuan Zeng, Yibin Zhang Smart Grid Multi-Attribute Network Process Comprehensive Evaluation Method and Its Application // Power and Energy Engineering Conference, Asia-Pacific. – 2012. – P. 1-5.
22. Xiang Yuan, ZhenXing Qian, Yang Zhou, You Wang, Mingming Yan Discussion on the development trend of smart grid and its key technology // Electricity Distribution (CICED), China International Conference. – 2012. – P. 1-8.
23. Гусев А. А. Моделирование трехфазного ФКП / А. А. Гусев // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2010. – Ч. 2. – С. 164-168.
24. Scott C. Smith, Michael J. Devaney Fourier Based Three Phase Power Metering System // IEEE. – 2002. – P. 30-35.
25. Ozdemir A., Ferikoglu A. Low cost mixed-signal microcontroller based power measurement technique // IEEE Proc.-Sci. Meas. Technol. – Vol. 151. – 2004. – № 4. – P. 253-258.
26. Rong-Ching Wu, En-Chih Chang, Jia-Chu Lee, Chun-Wei Huang Implement of DSP Based Optimal Power Analyzer // IEEE 2nd International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE). – 2013. – P. 153-156.

УДК 621.316.722

О.М. Городній, аспірант**В.В. Гордієнко**, канд. техн. наук**С.М. Степанчук**, магістрант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

**ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАЛЕЛЬНИХ
КВАЗІРЕЗОНАНСНИХ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ,
ЯКІ ПЕРЕМИКАЮТЬСЯ ПРИ НУЛЬОВОМУ СТРУМІ**

А.Н. Городний, аспірант**В.В. Гордиенко**, канд. техн. наук**С.М. Степанчук**, магистрант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

**СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ
КВАЗИРЕЗОНАНСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ,
ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ПРИ НУЛЕВОМ ТОКЕ**

Oleksii Horodnii, PhD student**Viacheslav Hordiienko**, PhD in Technical Sciences**Serhii Stepanchuk**, Master's Degree student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

**COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY IN PARALLEL KVAZIREZONANS
PULSE CONVERTERS THAT SWITCH AT ZERO CURRENTS**

Розглянуто роботу двох схем паралельних квазірезонансних імпульсних перетворювачів, проаналізовано комутаційні процеси в них. Особливу увагу приділено моделюванню, побудові регульованої та вихідної характеристик паралельного квазірезонансного імпульсного перетворювача, досліджено залежність коефіцієнта пульсацій від опору навантаження. Проведено порівняння двох схем виходячи з результатів моделювання вищезгаданих характеристик.

Ключові слова: силова електроніка, перетворювачі постійного струму, квазірезонансний перетворювач, зменшення розсіювання потужності, силовий ключ.

Рассмотрена работа двух схем параллельных квазирезонансных импульсных преобразователей, проанализированы коммутационные процессы в них. Особое внимание уделено моделированию, построению регулировочной и выходной характеристик параллельного квазирезонансного импульсного преобразователя, исследуется зависимость коэффициента пульсаций от сопротивления нагрузки. Проведено сравнение двух схем исходя из результатов моделирования вышеуказанных характеристик.

Ключевые слова: силовая электроника, преобразователи постоянного тока, квазирезонансный преобразователь, уменьшение рассеиваемой мощности, силовой ключ.

Examines the work of two circuits parallel quasi-resonant converters, switching processes are analyzed. Particular attention is paid to modeling, building and the adjusting the output characteristics of parallel quasi-pulse converter, the dependence of the ripple factor on the load resistance. We compare two circuits based on the simulation results of the above characteristics.

Key words: power electronics, DC converter, quasi-resonant converter, reducing power dissipation, power key.

Постановка проблеми. Дослідження і застосування квазірезонансних імпульсних перетворювачів, що перемикаються при нульовому струмі (КРП-ПНТ), нині є досить актуальним. Розробляються новітні принципові схеми, вдосконалюються вже наявні, але ще більше варіантів реалізації КРП-ПНС чекають своєї черги. Особливе значення має математичне моделювання, моделювання за допомогою комп'ютерних програм, а також експериментальне дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Після ретельного вивчення вітчизняних та іноземних статей [1-4], було прийняте рішення взяти описані нижче схеми для більш детального дослідження їх параметрів та характеристик.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Це дослідження таких схем КРП-ПНС, які раніше досліджені не були, або дослідженні недостатньо. Ставилося завдання отримати основні характеристики таких схем, щоб зрозуміти, чи варто такі схеми застосовувати на практиці, а також значення параметрів і режимів роботи, при яких вони можуть працювати.

Мета статті. Полягає у проведенні дослідження електромагнітних процесів у КРІП-ПНС, побудова й аналіз енергетичних, зовнішніх, регульованих характеристик вибраних схемних рішень.

Виклад основного матеріалу. Застосування квазірезонансних імпульсних перетворювачів дозволяє пом'якшити комутаційні процеси в імпульсному перетворювачі. Оскільки переключення силового ключа відбувається при нульовому струмі, це зменшує втрати потужності під час переключення. Також збільшується надійність системи, адже кристал транзистора зазнає менших перевантажень. Збільшення ККД пристрою дозволяє робити перетворення з більшою частотою (навіть більше 1 МГц), це дозволить значно зменшити розміри пристрою.

Для моделювання статичних і динамічних характеристик КРІП-ПНТ була використана бібліотека Simulink математичного пакета MATLAB, який дає змогу промоделювати необхідні нам енергетичні параметри схеми. Обрана бібліотека з елементами Simscape, яка є більш новішою за SimPowerSystems і дає кращий результат, що було перевірено на практиці.

Дослідження впливу елементів схеми на якість перетворення напруги

На рис. 1 представлена базова схема КРІП-ПНС [5; 6], характеристики якої недостатньо розглянуті в літературі. Параметри елементів наведені у табл. Вони вибрані такими [3], щоб порівняння енергетичної ефективності цієї схеми з іншими було коректним.

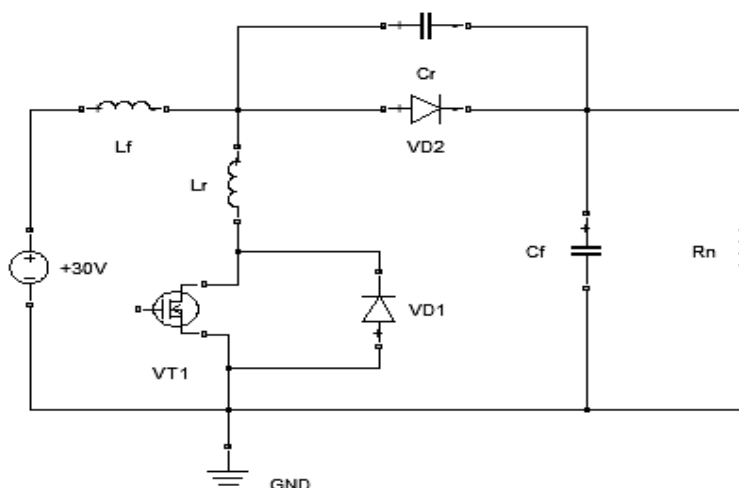


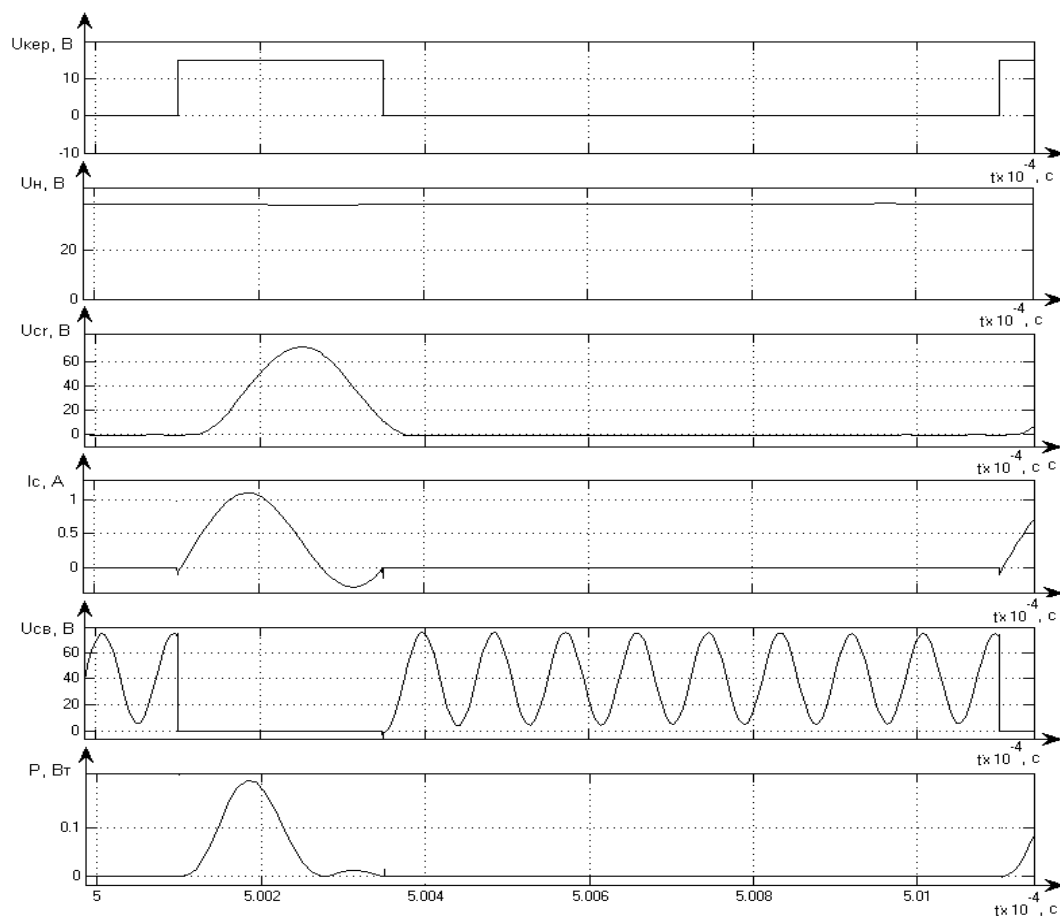
Рис. 1. Досліджувана схема КРІП-ПНС

Таблиця

Параметри моделювання схеми КРІП-ПНС

Назва параметра	Позначення	Величина	Одиниці виміру
Частота роботи електронного ключа	f	1	МГц
Тривалість керуючого імпульсу	t_I	0,25	мкс
Ємність резонансного контуру	C_r	1	нФ
Індуктивність резонансного контуру	L_r	2	мкГн
Ємність фільтра	C_f	0,22	мкФ
Індуктивність фільтра	L_f	20	мкГн
Напруга живлення	E	30	В
Внутрішній опір транзистора	R_i	0,29	Ом
Ємність "стік-виток"	c_p	94	пФ
Опір навантаження	R_n	130	Ом
Внутрішній опір діода	R_d	0,3	Ом

На рис. 2 представлені результати моделювання схеми з зазначеними вище параметрами. Як і повинно бути, перемикання силового ключа проходить при нульовому значенні струму через силовий ключ.

Рис. 2. Часові діаграми роботи КРІІ-ПНТ коли $t_{кер} = T_{рез}$

Слід зазначити, що закривати силовий ключ необхідно при досягненні нульового значення струму через транзистор після другої півхвилі коливання. Потужність розсіювання в цій схемі становить 0,1 Вт. Покажемо що буде відбуватися, якщо транзистор закрити вже після першої півхвилі (рис. 3), для цього тривалість імпульсу зменшимо до $t_i=0,17$ мкс.

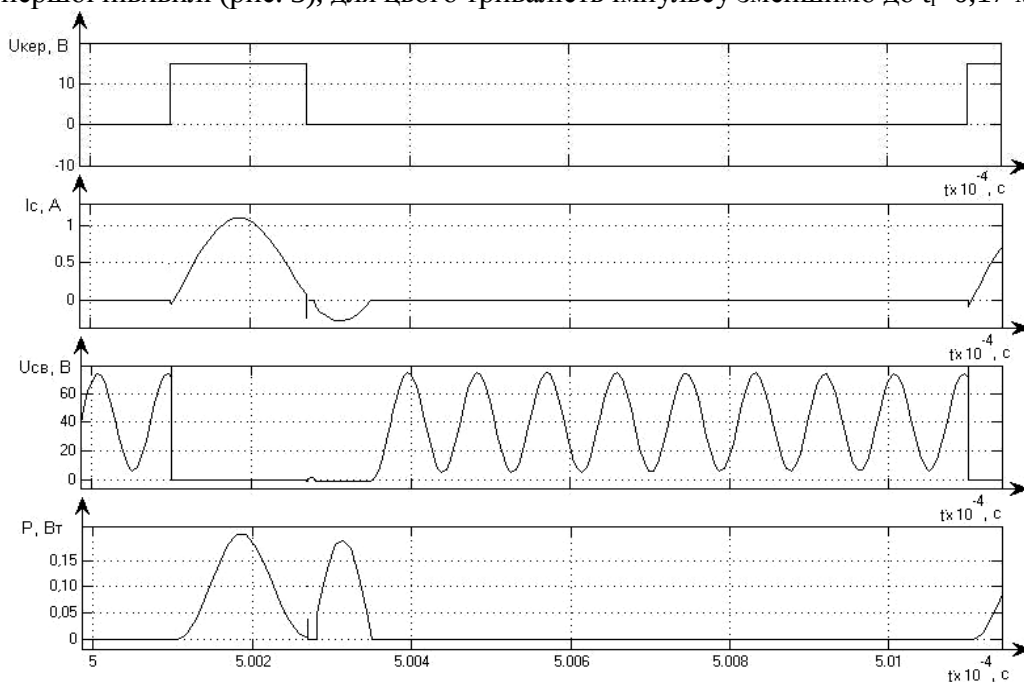


Рис. 3. Часові діаграми роботи КРІІ-ПНТС при зменшенні імпульсу керування

Як бачимо, у цьому випадку потужність розсіювання на силовому ключі значно збільшується (до 0,13 Вт).

Фільтруюча індуктивність в цій схемі виконує роль накопичувача енергії, яка потім передається в навантаження, так само як і фільтруюча ємність. Але занадто великі значення цих елементів призводять до збільшення часу перехідного процесу. Встановлено, що при таких малих значеннях фільтруючої індуктивності, як 20 мкГн та фільтруючої ємності 0,22 мкФ (рис. 4, а) ми спостерігаємо помітні коливання протягом перших 50 мкс. При збільшенні значення індуктивності до 150 мкГн і фільтруючої ємності до 0,5 мкФ і через 100 мкс усталеного режиму не буде, схема становиться більш інерційною (рис. 4, б).

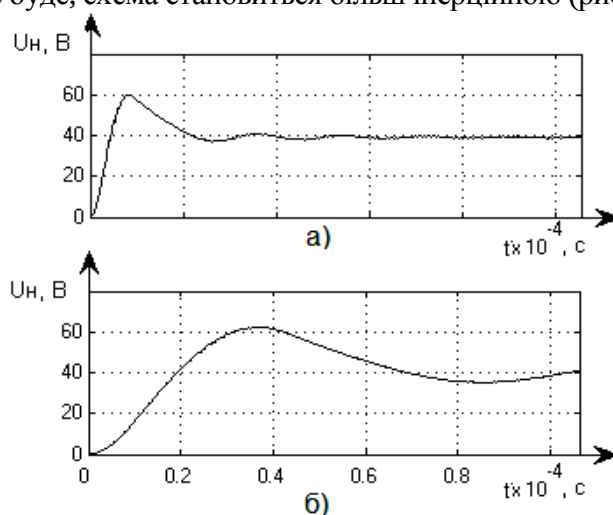


Рис. 4. Вплив фільтруючої індуктивності на час встановлення вихідної напруги

Фільтруюча ємність стабілізує роботу схеми, впливає на резонансний контур та зменшує паразитні втрати на силовому ключі. Збільшення цієї ємності призводить до зменшення високочастотних паразитних коливань, але збільшується час встановлення напруги на навантаженні, тобто збільшується амплітуда низькочастотних коливань на навантаженні.

За допомогою корегування резонансних ємності та індуктивності можна домогтися потрібної частоти резонансу, що у свою чергу визначить довжину керуючого імпульсу. Експериментально було встановлено, що чим більше значення резонансної індуктивності, тим менше амплітудне значення струму через транзистор. Обмежуючи струм через транзистор, можна зменшити втрати потужності на силовому ключі.

Але безмежно збільшувати значення цієї індуктивності не можна, оскільки резонансний процес вже при $L_r = 2,2 \cdot 10^6$ Гн не досягає нуля. На рис. 2, 3 ми бачимо паразитні коливання напруги на силовому ключі.

Введення додаткового діода (рис. 5) може подавити їх, перевівши в навантаження, тим самим ще більше покращити енергоефективність схеми.

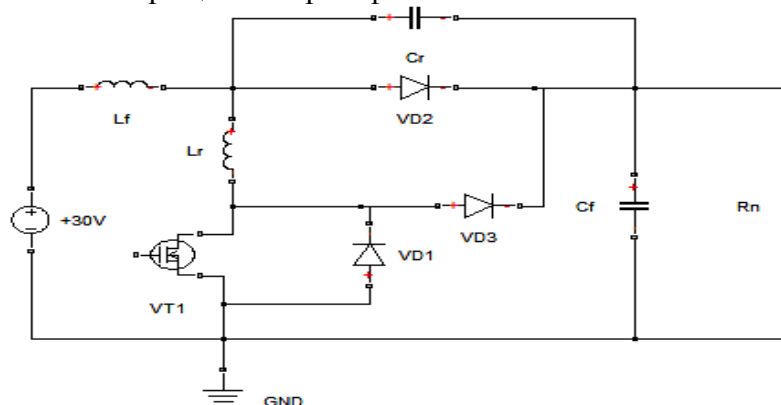


Рис. 5. Поліпшена схема КРП-ПНС

Отримані діаграми роботи зображені на рис. 6.

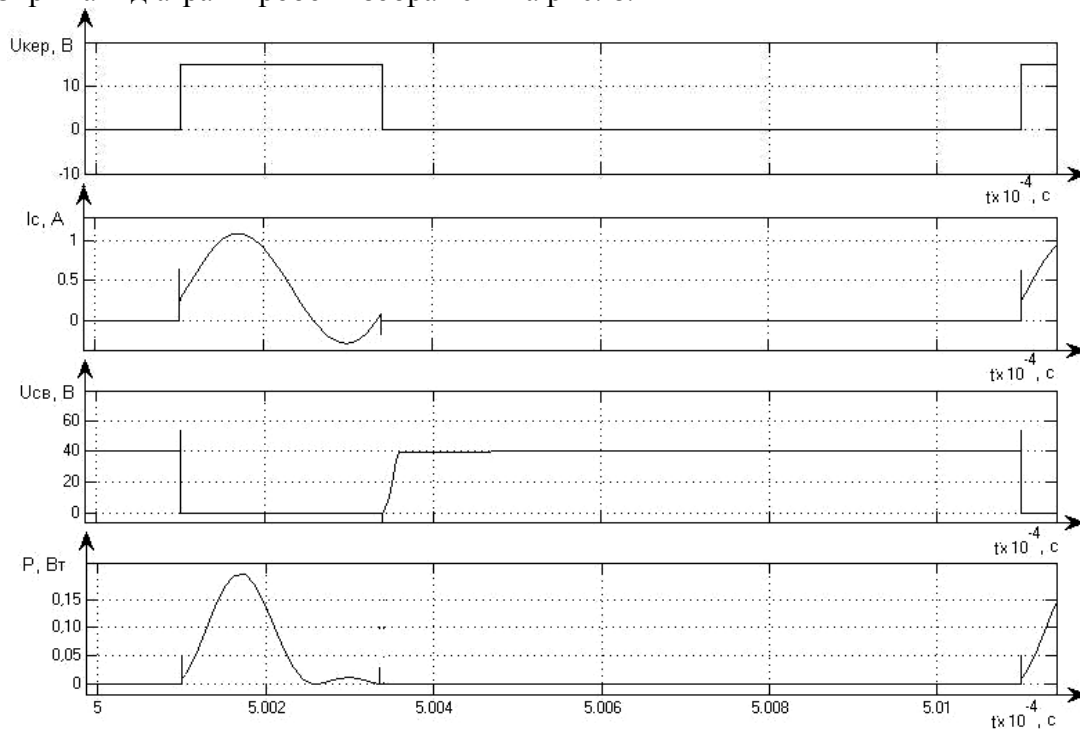


Рис. 6. Часові діаграми роботи поліпшеної схеми КРП-ПНС

Як бачимо, паразитні коливання напруги на силовому ключі були подавлені. Потужність розсіювання в цій схемі становить 0,068 Вт.

Для схеми, показаної на рис. 5, були проведені дослідження впливу значень елементів на електричні і динамічні характеристики. Встановлено, що при збільшенні L_f та C_f не тільки збільшується вихідна напруга, а ще й з'являються паразитні коливання на резонансній ємності. Потужність розсіювання при цьому збільшується. При зменшенні фільтруючої індуктивності зменшується і потужність розсіювання на силовому ключі, але енергетичні показники погіршуються за рахунок появи паразитних коливань напруги на силовому ключі. Напруга на навантаженні зменшується. При зменшенні номіналу фільтруючої ємності у вихідній напрузі виникають коливання як частотою 1 МГц, так і частотою в декілька кГц (рис. 7, 8). Амплітуда коливань може досягати одиниць вольт, що в більшості випадків неприпустимо. Більше того, значення вихідної напруги зменшується. Таким чином, роботоспроможність схеми здійснюється в таких діапазонах значень її елементів: для L_r це від 1,5 мкГн до 2,5 мкГн, C_f від 0,3 мкФ до 1 мкФ, L_f від 50 мкН до 170 мкН і C_r від 0,5 до 2нФ.

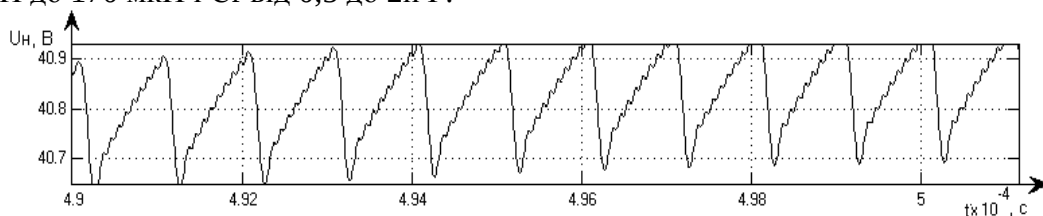


Рис. 7. Паразитні коливання на навантаженні з частотою заповнення

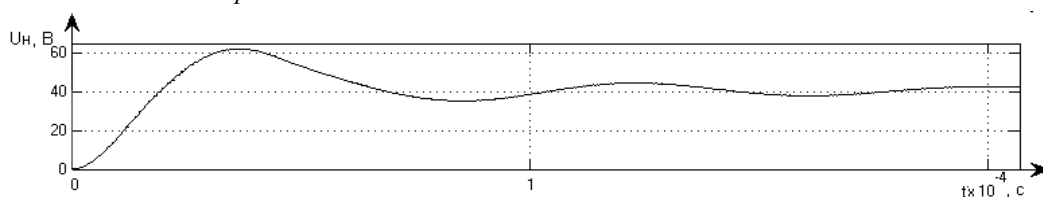


Рис. 8. Паразитні коливання на навантаженні низької частоти

Побудова основних характеристик схеми

На рис. 9 представлені регулювальні характеристики схем КРІП-ПНС.

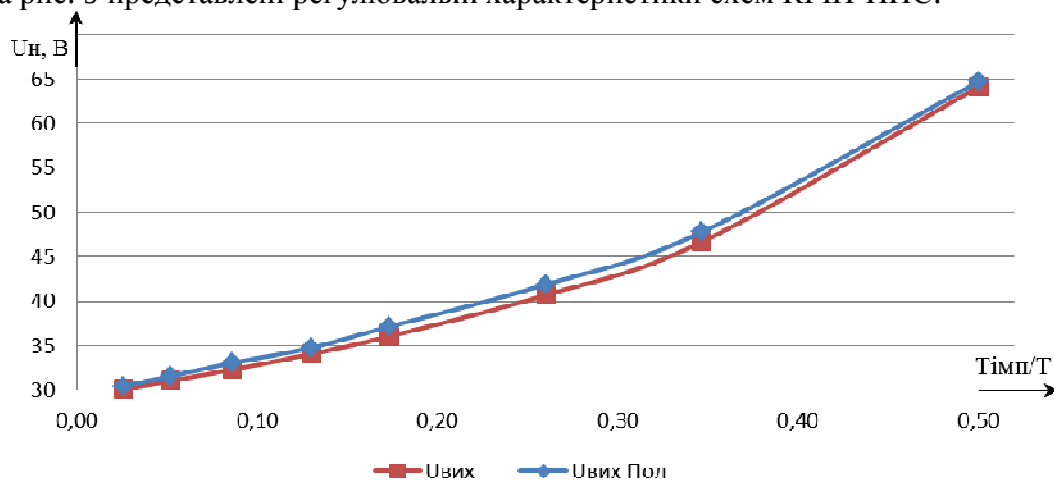


Рис. 9. Регулювальні характеристики схем КРІП-ПНС, $R_n=130 \text{ Ом}$

При відкритому силовому ключі, в індуктивності L_f накопичується енергія, яка згодом передається у навантаження. Отже, при збільшенні коефіцієнта заповнення керуючого сигналу також збільшується значення вихідної напруги. Як можна побачити з рисунка 15, залежність має нелінійний характер і мало відрізняється для двох схем. Довжина імпульсу управління становить 0,26 мкс.

Зовнішні характеристики КРІП-ПНС паралельного типу мають жорсткий характер (рис. 10, 11), величина опору навантаження майже не впливає на значення вихідної напруги, що дуже добре, адже для цієї схеми можна використовувати динамічне навантаження.

При значенні $R_n=65$ другий такт перетворювача не входить у від'ємні значення.

Як видно з рис. 12 та 13 залежностей тривалості імпульсу напруги керування від опору навантаження (при збереженні умови перемикавання при нульовому струмі), малі зміни R_n у схемі КРІП-ПНС суттєво впливають на тривалість імпульсу відкриття силового ключа. Тому для зменшення комутаційних втрат необхідно постійно корегувати тривалість імпульсів керування, що є мінусом таких перетворювачів. Отже, на відміну від зовнішньої характеристики, яка є досить жорсткою, результати побудови цієї залежності говорять про необхідність змінювати і час відкриття транзистора, і період роботи перетворювачів, для зменшення втрат розсіювання.

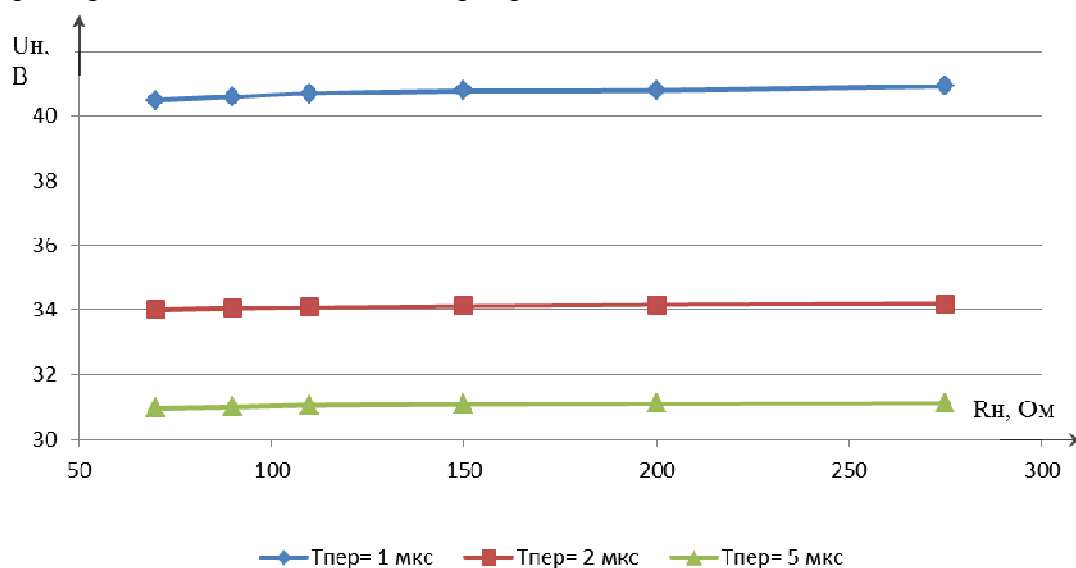


Рис. 10. Зовнішня характеристика КРІП-ПНТ

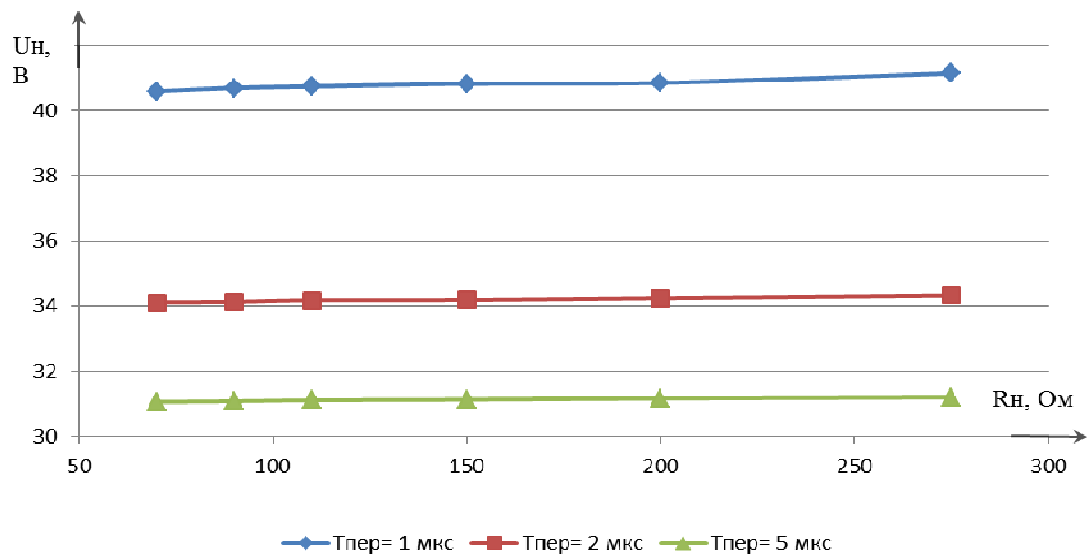


Рис. 11. Зовнішня характеристика КРІІ-ПНТ, полішена схема

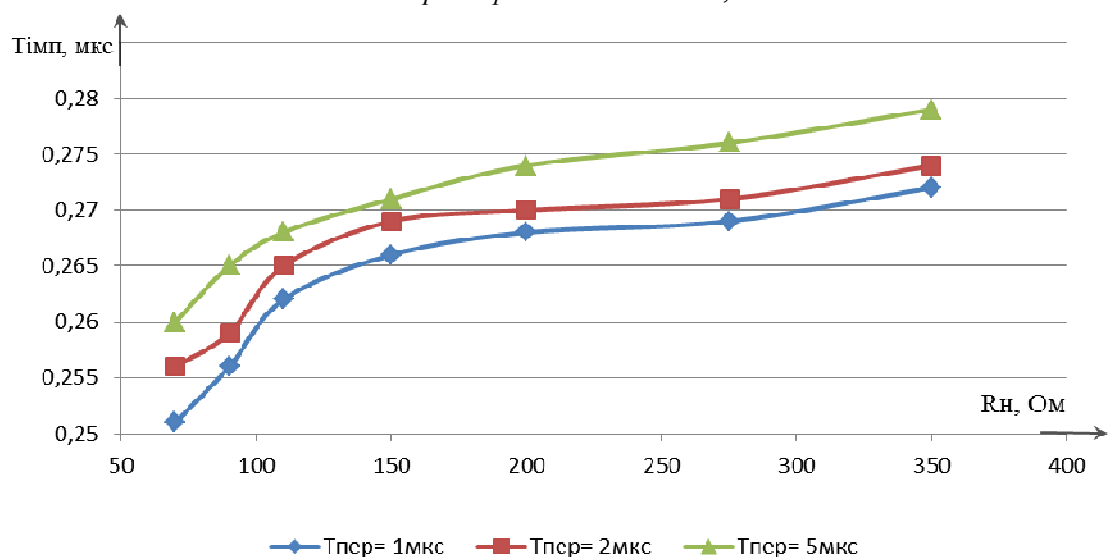


Рис. 12. Залежність $T_{імп}=f(R_n)$ КРІІ-ПНТ

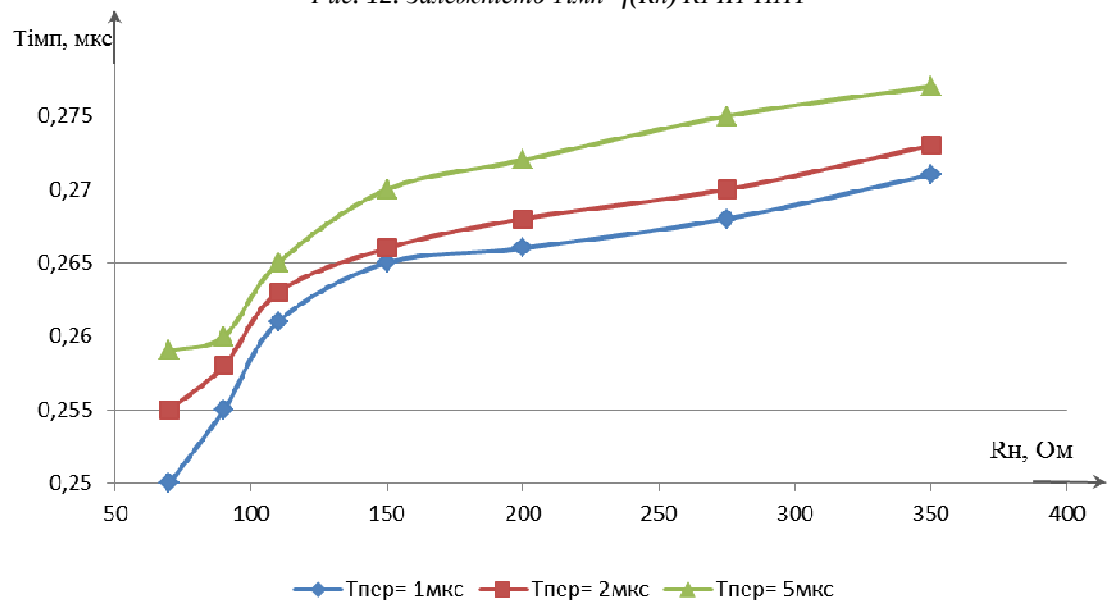


Рис. 13. Залежність $T_{імп}=f(R_n)$, полішена схема

Залежність коефіцієнта пульсацій K_p від опору навантаження R_n зображена на рис. 14. Видно, що пульсації зменшуються при збільшенні опору навантаження. Також спостерігається позитивний вплив додаткового діода в поліпшеній схемі, він зменшує коливання з частотою комутації і повністю нейтралізує високочастотні коливання на навантаженні.

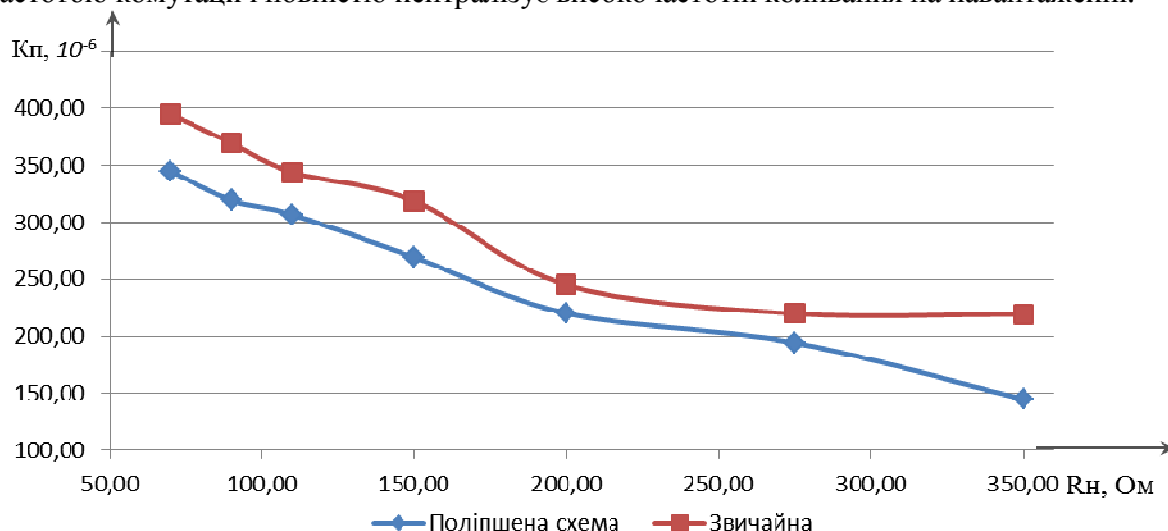


Рис. 14. Залежність $K_p=f(R_n)$, звичайна та поліпшена схема

Порівняємо отримані результати з іншими дослідженнями, зокрема візьмемо регульовальну характеристику іншого паралельного КРП-ПНС [7]. Результати можна бачити на рис. 15. При збільшенні коефіцієнта заповнення зростає напруга на навантаженні перетворювача. В цьому випадку у досліджуваній схемі при коефіцієнті заповнення 50 % ми бачимо підвищення напруги на 116 %, що є досить добрим результатом.

Порівнюючи ці дві залежності, можна сказати що досліджена схема більш ефективно підвищує напругу на виході перетворювача, це може бути пов'язано з тим, що в ній використовувалась фільтруюча ємність більшого номіналу. Але взагалі ці дві характеристики є досить лінійними, що полегшує керування перетворювачем.

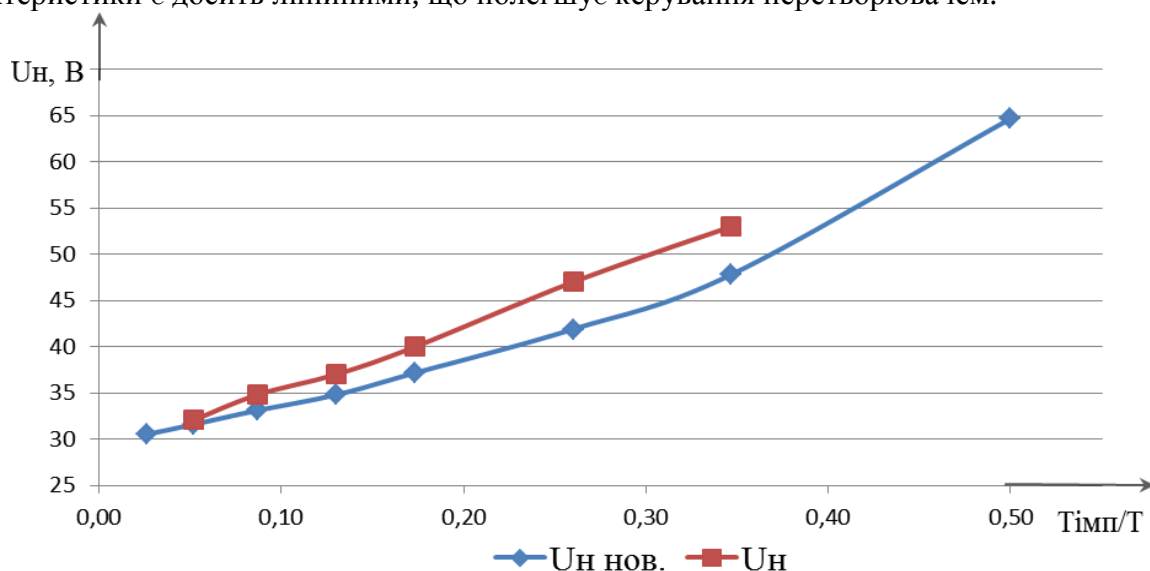


Рис. 15. Регульовальні характеристики двох схем паралельних КРП-ПНС

Висновки і пропозиції. У статті було розглянуто вплив елементів схеми КРП-ПНС на якість перетворення напруги.

1. Було доведено, що виключення управляючого імпульсу необхідно робити після досягнення другої півхвилі нульового значення.

2. Для двох розглянутих схем побудовано регульовальні, зовнішні характеристики, залежності від навантаження тривалості керуючого імпульсу і коефіцієнта пульсацій, а також визначено втрати потужності на силовому ключі для різних режимів.

3. Проведено аналіз впливу параметрів на ефективність роботи схем, визначено рекомендовані діапазони зміни значень елементів.

4. Порівняння отриманих характеристик показало, що в більшості практичних випадків кращою є схема КРПП-ПНС з додатковим діодом.

5. Аналіз залежності $T_{imp}=f(R_n)$ показав, що під час розроблення системи керування необхідно виконувати постійний контроль за навантаженням. Це можна робити, наприклад, відслідковуючи величину струму, що протікає через навантаження. За отриманим значенням R_n система керування повинна виробляти імпульс керування потрібної тривалості з урахуванням наведеної характеристики.

Список використаних джерел

1. E. Firmansyah, S. Tomioka, S. Abe, M. Shoyama, T. Ninomiya, "Steady State Characteristics of Active-Clamped Full-Wave Zero-Current-Switched Quasi-Resonant Boost Converters", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE, p. 556.

2. S. Tomioka, E. Firmansyah, S. Abe, M. Shoyama, and T. Ninomiya, "A Zero-Current-Switch Quasi-Resonant Boost Converter with Transformer Compensated Clamp Circuit", EPE 2009. – Barcelona, 8 p.

3. 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. – 2012. – № 6 (61). – С. 247-253.

4. Денисов Ю. О. Моделирование процессов коммутации в КРИЛ ПНТ с учетом паразитных параметров / Ю. О. Денисов, О. М. Городній, О. В. Савченко // Технічна електродинаміка. – К., 2008. – № 1. – С. 87-90.

5. S. Tomioka, S. Abe, M. Shoyama, T. Ninoiruy E Firmansyah, "Zero-current-switched quasi-resonant boost converter in power factor correction application", Applied Power Electronics Conference Exposition (APEC), 2009, Twenty-Fourth Annual IEEE, February 6, p. 11.

6. T. Ninoiruy E Firmansyah, S. Tomioka, S. Abe, M. Shoyama, "An Active-Clamped Full-Wave Zero-Current-Switched Quasi-Resonant Boost Converter in Power Factor Correction Application", Energy Electronics Laboratory Faculty of Engineering, Nagasaki University Nagasaki, Japan, p. 30.

7. Чуб Б. І. Дослідження характеристик регулюючих елементів у квазірезонансних та імпульсних перетворювачах постійної напруги : кваліф. робота магістра / Б. І. Чуб. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – 136 с.

8. Денисов Ю. О. Особливості роботи та статичні характеристики КРПП-ПНС паралельного типу / Ю. О. Денисов, О. М. Городній, О. А. Купко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник. – 2012. – № 1 (55). – С. 247-253.

РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБНОЇ, ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ І ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 006.022:006.83:671.12

І.О. Дудла, д-р техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СКЛАДОВІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЮВЕЛІРНОЇ ПРОДУКЦІЇ В УКРАЇНІ

И.А. Дудла, д-р техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ОЦЕНИВАНИЮ ЮВЕЛИРНОЙ ПРОДУКЦИИ В УКРАИНЕ

Iraida Dudla, Doctor in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

THE COMPONENTS OF TECHNICAL REGULATION SYSTEM FOR ESTIMATING JEWELRY IN UKRAINE

Досліджено складові системи технічного регулювання щодо оцінювання ювелірної продукції в Україні. Висвітлено найбільш значущі аспекти технічного регулювання у напрямку горизонтального та галузевого законодавства, які потребують негайного реформування в ювелірній галузі.

Ключові слова: технічне регулювання; стандартизація; сертифікація, акредитація, ринковий нагляд.

Исследованы составляющие системы технического регулирования по оценке ювелирной продукции в Украине. Освещены наиболее значимые аспекты технического регулирования в направлении горизонтального и отраслевого законодательства, требующие немедленного реформирования ювелирной отрасли.

Ключевые слова: техническое регулирование, стандартизация, сертификация, аккредитация, рыночный надзор.

We studied the components of the system of technical regulation to assess jewelry products in Ukraine. Highlights the most important aspects of technical regulation in the direction of horizontal and sectoral legislation requiring immediate reform of the jewelry industry.

Key words: technical regulation, standardization, certification, accreditation, market surveillance.

Постановка проблеми. В умовах глобалізації світової економіки, виходу України на міжнародну арену, забезпечення високої конкуренто- та експортоспроможності продукції усі проблеми, пов'язані із виходом на європейські і світові ринки товарів українських виробників, набувають особливої ваги.

Вирішення цієї проблеми передбачає реалізацію цілого комплексу заходів структурно-організаційного, техніко-інноваційного та правового характеру. Серед них головним є реформування системи технічного регулювання України для забезпечення відповідності вітчизняних товарів світовим вимогам. Для досягнення можливості експортувати до внутрішнього ринку ЄС ювелірні товари Україна має привести свою систему технічного регулювання у відповідність до європейських вимог, оскільки головними перешкодами зовнішньої торгівлі є не імпорتنі тарифи, а технічні бар'єри у торгівлі – вимоги до безпечності та якості ювелірної продукції, її характеристик, процедури оцінювання відповідності. Актуальною залишається проблема вдосконалення правового та нормативного забезпечення щодо якості сплавів ювелірних та побутових виробів із дорогоцінних металів (ДМ), а також законодавства у сфері технічного регулювання, стандартизації, підтвердження відповідності та захисту прав споживачів.

Певна правова та нормативна база для цього в Україні вже створена. Це, насамперед, закони України, спрямовані на виконання принципів СОТ, реформування системи технічного регулювання до міжнародних і європейських вимог. Проте вміщені у цих законах положення в силу їх загального характеру, неузгодженості між собою та з ін-

шими нормативно-правовими актами, як видається, не можуть повною мірою забезпечити втілення усіх норм технічного регулювання ЄС у бізнес-правову практику України, залишаючи їх майже не діючими.

Це ускладнює інтеграцію українських виробників ювелірної продукції з міжнародним ринком, переважantly шлях до укладення угод про взаємне визнання з розвиненими країнами, зумовлює перешкоди, які змушені долати українські експортери. Тому є потреба у більш детальному аналізі стану технічного регулювання ювелірної галузі, оскільки вона відзначається неабиякою специфікою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичною основою вивчення норм системи технічного регулювання стали публікації провідних науковців зокрема, О. Чувпило, С. Осики, Г. Філіпчука, Я. Юзьківа, О. Шнирова, Р. Овчаренко, К. Кошман, Л. Кавуненко, Т. Гончарова, Ф. Грищенко, Ю. Кожедуба, Л. Віткіна, Т. Артюх, К. Зарембо, В. Нанівської, В. Грановського, М. Бороди та ін. Серед іноземних авторів можна виділити праці М. Леммела, Ф. Маніє, Д. Хансон, А. Бейлі, М. Маккіні, Н. Біверс, С. Рейнолдс, Н. Мусис та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У зазначених роботах недостатньо приділено уваги модернізації законодавчої бази в галузі стандартизації, метрології, оцінювання відповідності, якості ювелірної продукції, державного нагляду за ринком ювелірних товарів відповідно до вимог СОТ та ЄС на основі вивчення сучасного європейського досвіду та практики.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження стану технічного регулювання щодо ювелірної продукції та шляхи модернізації законодавчої бази в галузі стандартизації, метрології, оцінювання відповідності, якості продукції ювелірної галузі.

Виклад основного матеріалу. У зв'язку зі стрімкими змінами економічної ситуації на ринку ювелірних виробів України останніми роками постають проблеми, які насамперед пов'язані з розширенням ринків збуту, модернізацією виробництва, впровадженням нових лігатурних сплавів, вдосконаленням системи оцінювання відповідності, підвищення конкурентоспроможності продукції тощо.

Для розв'язання цих проблем і виходу ювелірної продукції на інші зарубіжні ринки, необхідно вирішити завдання щодо вдосконалення законодавчої та нормативної бази в системі технічного регулювання України. Основоположним документом у сфері виробництва, торгівлі та оцінювання ювелірних виробів є Закон України «Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дорогоцінних металів і дорогоцінного каміння та контроль за операціями з ними» [6]. Цей Закон передбачає ліцензування видобуткової, виробничої та торгової діяльності, пов'язаної з дорогоцінними металами та дорогоцінними каменями суб'єктів господарювання. Ліцензія на виробництво ювелірних виробів з коштовних матеріалів не потрібна, що сприяє появі на ринку України продукції сумнівної якості.

Важливою складовою державного регулювання щодо якості ювелірної продукції є пробірний контроль та виконання оціночних операцій з ними, який провадиться Державною пробірною службою та казенними підприємствами пробірного контролю [8].

З березня 2009 р. набув чинності Наказ Міністерства фінансів України № 1519 «Про затвердження Інструкції про порядок проведення перевірок щодо додержання законодавства України при здійсненні операцій з дорогоцінними металами і дорогоцінним камінням».

Згідно з цією Інструкцією визначено та посилено основні вимоги та порядок проведення перевірок та обстежень, які здійснюються Державною пробірною службою з метою перевірки виконання законодавства щодо одержання, використання, обліку, зберігання та експонування цінностей суб'єктами господарювання незалежно від форм власності та підпорядкування з метою запобігання порушенням вимог законодавства України. Посилена і відповідальність суб'єктів господарювання за порушення законодавства у сфері виробництва та торгівлі ювелірними виробами.

Відповідно до Кодексу про адміністративні порушення відповідальність у цій сфері передбачена за:

1) порушення порядку реалізації дорогоцінних каменів згідно зі ст. 189-1 «Порушення порядку видобутку, виробництва, використання і реалізації дорогоцінних металів і коштовних каменів, коштовних каменів органогенного утворення і напівкоштовних каменів»;

2) порушення вимог Державного пробірної контролю згідно зі ст. 244-1 «Органи, які здійснюють державний пробірний контроль».

Проте ювелірні підприємства остерігаються не адміністративних штрафів і загрози кримінальної відповідальності, а втрати репутації надійного виробника чи продавця. Адже сертифікація дорогоцінних каменів започаткована такими світовими брендами, як Cartier, VanCleaf, Tiffany та іншими, здобула визнання і довіру, зокрема за рахунок виняткової коректності в оцінювання дорогоцінних каменів.

В Україні відсутня обов'язкова сертифікація ювелірних виробів. Добровільна сертифікація здійснюється за чинними нормативними та технічними документами.

Окремі галузі української промисловості, зокрема і ювелірна, за технічними та технологічними показниками не зацікавлені у випуску продукції відповідно до вимог стандартів. Для цього необхідні інвестиції у виробництво та оновлення технологій у першу чергу. Через це підприємства не виявляють зацікавленості у фінансовій підтримці розроблення прогресивних стандартів або не порушують питання їх гармонізації з європейськими.

Нормативна база щодо ювелірних виробів представлена в Україні багатьма стандартами, в яких встановлено марки золота, срібла, платини та паладію та їх сплавів різних методів перероблення та орієнтовну галузь використання зазначених сплавів, регламентовано хімічний склад сплавів, загальні вимоги до якості та методів проведення аналізу.

Аналіз стандартів по золоту, сріблу, платині щодо технічних умов та методів аналізу свідчить про те, що більшість з них були розроблені більше як 30 років тому і у процесі гармонізації з європейськими стандартами ніяких змін до їх змісту внесено не було.

Якщо технічні вимоги на дорогоцінні сплави змінювались в часі у світі повільно, то вимоги на методи хімічного аналізу у вітчизняній і міжнародній практиці змінились кардинально. З'явилися нові методи і прилади, широко використовується обчислювальна і комп'ютерна техніка та програмування, регламентуються метрологічні характеристики і системи метрологічного забезпечення, змінилась структура сучасних стандартів і порядок їх затвердження і т. ін.

Згідно з ДСТУ 3527-97 [2], «матеріали, які застосовуються для виготовлення виробів, повинні відповідати вимогам діючих стандартів і технічних умов», зокрема вимогам міждержавного стандарту ГОСТ 30649-99 [1] та технічним умовам на ювелірні сплави [9] та не містити небезпечних домішок. Пробірний контроль дорогоцінних сплавів в Україні здійснюється по вмісту дорогоцінного металу, тобто по пробі.

Кількість лише офіційно зареєстрованих на сьогодні рецептур ювелірних сплавів дорогоцінних металів близько ста. Кількість регламентованих сплавів в Україні обмежена і надана в табл.

Таблиця

Кількість нормативно визначених рецептур сплавів

Нормативний документ	Всього сплавів	Сплавів на основі:			
		золота	срібла	платини	паладію
ГОСТ 30649-99 «Сплавы на основе благородных металлов ювелирные. Марки»	41	27	5	63	3
ДСТУ ГОСТ 6835-2004 Золото та золоті сплави. Марки»	37	37	-	-	-
ДСТУ ГОСТ 6836-2004 «Срібло та срібні сплави. Марки»	20	-	20	-	-
ТУ У 27.4-00201514-010:2005 «Сплавы на основе драгоценных металлов»	24	20	4	-	-

Вимоги стандартів поширюються на сплави з ювелірних дорогоцінних металів та встановлюють загальні вимоги до методів їх аналізу.

Основними компонентами ювелірних сплавів, які визначено у вітчизняній чинній документації, залишаються:

1. у золотих сплавах – золото, срібло і мідь. Залежно від технологічних особливостей виготовлення та кольору до них включаються нікель, цинк, паладій, платина, галій, кремній;
2. у срібних сплавах як лігатурний метал використовується виключно мідь. Вироби нижчих проб для покращення зовнішнього вигляду часто вкривають шаром родію. Окремі композиції, крім міді, містять невеликі кількості цинку, кремнію, олова, індію;
3. платинові сплави є виключно двокомпонентними композиціями, де до основного металу додають іридій, паладій, родій, мідь;
4. у паладієві сплави вводять срібло, нікель або мідь.

Наказом Міністерства фінансів № 700 надано чинності галузевим стандартам України з оцінки якості ювелірних сплавів та виробів з них. До них відноситься ГСТУ 75.1-00013480-001-2003 «Розроблення, зміст, узгодження та реєстрація технічних умов, які регламентують вимоги до ювелірних сплавів».

Мета впровадження цього галузевого стандарту полягає в тому, що кожний суб'єкт підприємницької діяльності, який бажає застосовувати під час виготовлення ювелірних виробів з дорогоцінних металів ювелірні сплави власних розробок, хімічний склад яких відрізняється від сплавів, встановлених міждержавним стандартом ГОСТ 30649-99 «Сплавы на основе благородных металлов ювелирные. Марки», повинен розробити та погодити на такі ювелірні сплави власні технічні умови. Проте більшість підприємств працюють на сплавах, що не мають ніякої регламентації.

Прикладом впровадження окремих технічних вимог є ТУ У 27.4-00201514-010:2005 «Сплавы на основе драгоценных металлов ювелирные. Технические условия», розроблені членами Асоціації ювелірів України. Ці технічні умови поширюються на сплави на основі дорогоцінних металів ювелірні, які використовуються для виробництва ювелірних та інших виробів побутового призначення. Право власності на цей документ належить Асоціації ювелірів України та значно розширює технологічні можливості підприємств-членів асоціації.

Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 13.01.2006 № 7 затверджено Державний гігієнічний норматив «Перелік речовин, продуктів, виробничих процесів, побутових та природних факторів, канцерогенних для людини», який на сьогодні має статус чинного нормативного документа. Ним, зокрема, встановлено, що нікель, кадмій мають канцерогенні властивості, тобто є небезпечними для здоров'я людини.

Згідно з Директивою Європейського парламенту і Ради ЄС № 94/27/ЄС нікель, як складова частина ювелірного сплаву, не може бути використаний в ювелірних та побутових виробках з дорогоцінних металів, що мають прямий та довгостроковий контакт зі шкірою людини (сережки, браслети, персні і т. ін.). Що стосується ювелірних сплавів імпортного походження (імпортні вироби) – підхід до офіційного застосування практично аналогічний, за виключенням розроблення ТУ. У цьому випадку Державною пробірною службою надається експертний висновок за результатами здійснення хімічного аналізу складу сплаву. За наявності шкідливих домішок замовник повинен погодити застосування сплаву з Міністерством охорони здоров'я, тобто офіційно підтвердити безпеку його застосування.

Офіційне визнання здатності суб'єкта підприємницької діяльності дотримуватися вимог чинного законодавства, нормативних документів, організаційно-технічних вимог щодо задоволення вимог споживача з якості ювелірних сплавів та виробів з них сформульовано у ГСТУ 75.1-00013480-004-2003 «Правила оцінки якості ювелірних сплавів та виробів з них».

Таке оцінювання якості відповідно вимог вищезазначеного галузевого стандарту здійснить Державна пробірна служба Мінфіну України на підставі заяви, наданої суб'єктом підприємницької діяльності.

Це надає можливість обґрунтовано визначати суб'єктів підприємницької діяльності, які забезпечують якість продукції; оцінити рівень якості їх продукції; контролювати зміни якості продукції протягом певного проміжку часу; фінансово заохотити виробників щодо забезпечення відповідного рівня якості продукції; визначити можливість виготовлення (застосування) сплавів з ДМ, які за хімічним складом не відповідають ГОСТ 30649.

Крім того, в Україні розроблено нові технічні документи, що регламентують питання оцінювання якості діамантів і кольорових дорогоцінних каменів. Найбільш сучасними та наближеними до міжнародних стандартів є розроблені ПП «Центурі» ТУ У 36.2-32920333.001-2005. В них враховано світовий досвід оцінювання діамантів, рубінів, синіх сапфірів і смарагдів. Система оцінювання кольору складається з літерних і цифрових показників та встановлює чіткі переходи між ними. Розробки доповнені еталонами кольорів, дублікати яких комплектуються за вимогами суб'єктів підприємства.

Загалом нормативно-правова база у сфері ювелірного виробництва та торгівлі в Україні залишається доволі неоднорідною, окремі законодавчі норми – недостатньо узгодженими, а інколи й суперечливими.

Законодавством прямо не передбачені повноваження органів державного нагляду за діяльністю органів, які мають право здійснювати оцінювання, зокрема сертифікацію ювелірних виробів із дорогоцінних металів, і суб'єктів господарювання, які мають право на клеймування ювелірних виробів власного виробництва.

На цьому етапі розвитку сучасної законодавчої бази необхідно прийняти гармонізовані та вдосконалені нормативно-правові акти у сфері державного нагляду за дотриманням вимог законодавства у сфері технічного регулювання, сертифікації, оцінювання відповідності та захисту прав споживачів.

Зокрема, єдиних правил та норм проведення державного пробірного контролю, оцінювання, забезпечення реалізації права виробників ювелірної продукції на самостійне клеймування виробів власного виробництва (за наявності акредитованої лабораторії), які регулюватимуть обіг дорогоцінних металів у сфері виробництва і реалізації ювелірних виробів та запобігатимуть проникненню на ринок України небезпечних ювелірних виробів; передбачатимуть проведення перевірок суб'єктів господарювання з питань дотримання вимог законодавства про захист прав споживачів та порядок проведення контрольної перевірки правильності розрахунків зі споживачами за надані послуги та реалізовані товари.

Висновки і пропозиції. 1. З огляду на все вищезазначене можна констатувати, що нормативна база у сфері якості дорогоцінних металів не відповідає повною мірою вимогам сьогодення та чинній нормативно-правовій базі Європейського Союзу, отже, підлягає перегляду. Водночас, з практичної площини цього питання є нагальна потреба в розробленні сучасних стандартів всіх рівнів.

2. Відсутні стандартні зразки, відповідно до атестованих методик. В Україні не має жодного підприємства з випуску стандартних зразків на основі дорогоцінних металів. Процедура впровадження нових сплавів чітко не прописана в законодавстві України. Повільно походить адаптація законодавства України до законодавства ЄС.

3. Реактиви, які застосовуються у процесі випробування сплавів дорогоцінних металів передбачені для випробування стандартних сплавів. Не досліджується вплив нових компонентів або різних концентрацій на визначення масової частки золота. Методи аналізу, розроблені 30 років тому, є свідомо застарілими й не відповідними до сучасних вимог. Наприклад, Російською Федерацією впроваджуються двадцять нових сплавів на основі паладію, але не надаються методи їх контролю.

4. З появою нових сплавів, які не відповідають чинним нормативним документам виникають проблеми з випробуванням сплавів. Не вивчений вплив легуючих компонентів (таких як індій, вольфрам, цинк, кадмій, галій) під час випробування на пробірному камені ювелірних та побутових виробів з дорогоцінних металів, виробів та матеріалів, що містять дорогоцінні метали.

5. Нестандартні сплави, що використовуються виробниками в Україні, повинні бути легалізовані через розроблення відповідних ТУ та погоджені (за наявності шкідливих домішок) відповідності до вимог ГСТУ 75.1-00013480-001-2003 «Система галузевої стандартизації України. Розробка, зміст, узгодження та реєстрація технічних умов, які регламентують вимоги до ювелірних сплавів».

Список використаних джерел

1. ГОСТ 30649-99. Сплавы на основе благородных металлов ювелирные. Марки.
2. ДСТУ 3527-97. Вироби золотарські з коштовних каменів. Загальні технічні умови.
3. Кодекс України про адміністративні правопорушення від 07.12.84 № 8073-X.
4. Кримінальний кодекс України від 05.04.2001 № 2341-111.
5. Про визначення розміру збитків, завданих підприємству, установі, організації розкраданням, знищенням (псуванням), недостачею або втратою дорогоцінних металів, дорогоцінного каміння та валютних цінностей : Закон України від 06.06.95 № 217/95-ВР.
6. Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дорогоцінних металів і дорогоцінного каміння та контроль за операціями з ними : Закон України від 18.11.1997 № 637/97-ВР.
7. Про затвердження гігієнічного нормативу «Перелік речовин, продуктів, виробничих процесів, побутових та природних факторів, канцерогенних для людини» : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 13.01.2006 № 7.
8. Про затвердження Інструкції про здійснення державного експертно-пробірного контролю за якістю ювелірних та побутових виробів з дорогоцінних металів : Наказ Міністерства фінансів України від 20.10.99 № 244.
9. ТУ У 27.4-00201514-010:2005. Сплави на основі дорогоцінних металів ювелірні. Технічні умови.

УДК 621.791.3

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОСНОВНИХ ПРИЧИН ТА НАСЛІДКИ АВАРІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД, ЩО СТАЛИСЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ЗА ОСТАННІ П'ЯТЬ РОКІВ

М.Г. Болотов, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПРИЧИН И ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙ ЗДАНИЙ И СТРОЕНИЙ, ПРОИЗОШЕДШИХ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ПЯТЬ ЛЕТ

Maksym Bolotov, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

ANALYTICAL REPORT OF MAIN CAUSES AND CONSEQUENCES OF ACCIDENTS OF BUILDINGS AND STRUCTURES ON THE TERRITORY OF UKRAINE FOR THE PAST FIVE YEARS

Проведено систематизацію та узагальнення аварій і катастроф конструкцій різного призначення, що відбулися на території України протягом останніх п'яти років, а також розглянуто заходи, за допомогою яких вони можуть бути попереджені.

Ключові слова: аварія, будівлі, житловий сектор, інцидент, інфраструктура, обрушення.

Проведена систематизація і обобщение аварий и крушений конструкций различного назначения, произошедших на территории Украины на протяжении последних пяти лет, а также рассмотрены мероприятия, посредством которых они могут быть предотвращены.

Ключевые слова: авария, здания, жилой сектор, инцидент, инфраструктура, обрушения.

Systematization and generalization of accidents and shipwrecks of constructions of the different setting, happening on territory of Ukraine during the last five years, are in-process conducted, and also measures by means of that they can be prevented are considered.

Key words: accident, buildings, residential sector, the incident, infrastructure collapse.

Вступ. Надійність конструкцій та споруд залежить від багатьох факторів: марки матеріалів, що використовуються, перерізу елемента, їх форми, якості виготовлення та монтажу, умов експлуатації, своєчасного ремонту, а в необхідних випадках – підсилення конструкції і т. ін. Всі перелічені фактори впливають на строк нормальної експлуатації та визначають несучу здатність будівель та споруд та їх окремих конструктивних елементів. Кожна окрема аварія є результатом сукупності декількох причин, поєднання декількох несприятливих факторів. Разом із тим завжди вдається можливим виділити основну причину, що безпосередньо або побічно призвела до аварії. Обрушується або приходить в аварійний стан сама слабка ланка, самий дефектний елемент, що був неправильно спроектований.

У багатьох випадках, головним чином при повному обваленні конструкції, буває важко встановити основну причину аварії. Однак встановлення саме основної причини катастрофи в кожному конкретному випадку має першорядне значення. В будівельній практиці відомі випадки, коли неправильно встановлена першопричина аварії призвела до повторної катастрофи [1].

Постановка завдання. Останнім часом на території України все частіше трапляються випадки обрушення будівель і споруд різного призначення. На жаль, це практично завжди супроводжується травмуванням або загибеллю людей.

Наслідки аварій будівель і споруд промислового призначення можуть бути досить непередбачуваними. Здебільшого вони призводять до економічних втрат. Але не можна забувати Чорнобиль, аварія якого призвела до масштабної екологічної катастрофи. За даними Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я, опублікованих у вересні 2005 року, від наслідків Чорнобильської аварії загинуло приблизно чотири тисячі чоловік. Цифри, опубліковані ВООЗ, здаються занадто низькими. Реальну кількість людських жертв після вибуху ніхто не зможе назвати і нині.

Не більш сприятлива ситуація склалася навколо житлового сектору. Статистика показує, що число аварій будівель житлового призначення з кожним роком зростає. Так, у 1994-му році трапилося 27 аварій, в 1995-му – 31, в 1996-му – 36 [2]. Це примушує замислитися, адже саме в цих аваріях страждають наші діти і батьки.

Аварії будівель та споруд не відбуваються раптово. Переважно цьому сприяють деякі фактори, а в разі випадків і цілий комплекс факторів та причин. За даними російської компанії «ВЕЛД», аварії будівель відбуваються внаслідок сукупності причин [3]:

- низька якість робіт при зведенні будівель і споруд;
- упущення та порушення правил експлуатації;
- низька якість будівельних матеріалів;
- неякісне виготовлення конструкції (низька культура будівельних робіт);
- помилка на стадії проектування;
- недоліки норм проектування, правил виготовлення та монтажу конструкції.

На рис. 1 показано розподілення аварій будівель та споруд з металевими конструкціями каркасів за їх причинами.

Особливу тривогу викликають аварії житлових будівель, оскільки аварії в цьому секторі трапляються найчастіше. Їх кількість становить 27 % від загального числа обрушень. Причин аварій житлових споруд дуже багато. Серед головних можна виділити [4]:

- порушення правил технічної експлуатації будівель та споруд;
- втрата несучої здатності вузловими монтажними з'єднаннями через допущені дефекти та відступ від проектних рішень;
- перевищення розрахункових навантажень на конструкції під час будівництва, реконструкції та виконання ремонтних робіт;
- низька міцність конструкційних систем та окремих конструкцій;
- просадка фундаменту, що викликано зниженням несучої здатності ґрунтів основи;

- застосування помилкового проектного рішення;
- незабезпечення вимог розподілення навантаження в місцях спирання несучих конструкцій на кам'яну кладку.

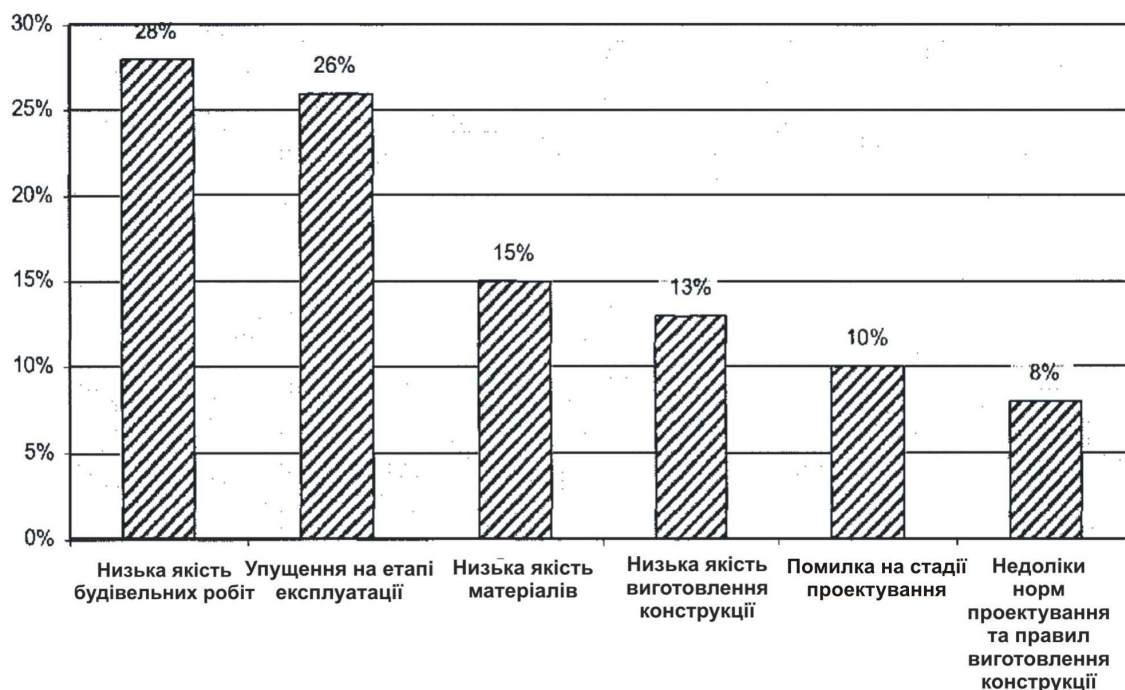


Рис. 1. Розподілення аварій будівель і споруд з металевими конструкціями каркасів за їх причинами

Розглянемо приклади деяких аварій житлових будинків, що сталися на території України за останні п'ять років.

Зі ЗМІ ми дізнаємось, що лише по Чернігівській області за досліджений період сталося біля 7 випадків аварій будівель житлового призначення, деякі із них навіть із людськими жертвами. Причиною більшості таких випадків є аварійний стан будівлі та людський фактор (порушення правил експлуатації).

16 лютого 2010 року в м. Чернігові по вулиці Корольова, 13, сталося обрушення даху багатоквартирного будинку (рис. 2). Шістдесят жителів будинку евакуйовано. За попередніми даними, обрушення відбулося внаслідок неякісних елементів стропильної системи будівлі та великої кількості осадів у вигляді мокрого снігу, що випав напередодні.



Рис. 2. Обрушення даху багатоквартирного житлового будинку, м. Чернігів

Після обвалу даху в житловому будинку на Корольова, 13, подібна надзвичайна подія повторилася в дитячому садку № 36 м. Чернігова (рис. 3). На щастя, рано вранці, коли ні дітей, ні працівників дошкільного закладу в ньому не було. Причиною обвалу стало скупчення снігу на старезному даху будівлі.



Рис. 3. Обрушення даху дитячого будинку, м. Чернігів

26 березня 2012 року по вулиці 50 років ВЛКСМ у м. Чернігові стався вибух у п'ятиповерховому житловому будинку (рис. 4). Внаслідок вибуху дві людини загинуло, ще четверо поранені, зокрема, 9-річна дитина. За попередньою інформацією, вибух стався в одній із квартир на першому поверсі внаслідок витоку і займання побутового газу. Причиною цього є порушення правил користування газовою колонкою.



Рис. 4. Вибух побутового газу в п'ятиповерховому житловому будинку, м. Чернігів



Рис. 5. Часткове обрушення будівлі колегіуму № 11, м. Чернігів

9 листопада 2012 року в Чернігівському колегіумі № 11 стався обвал приміщення спортзалу (рис. 5). Спочатку впала одна стіна, а через кілька годин будівля завалилася. Стіни впали, коли заняття там не проводили. Ніхто з людей не постраждав. Інцидент стався під час виконання будівельних робіт по утепленню фундаменту старої частини школи, до якої ще в 1951 році було прибудовано спортзал.

10 червня 2012 року в м. Луцьк, під завалами п'ятиповерхового житлового будинку загинуло дві людини (рис. 6). Як повідомлялося в ЗМІ, у п'ятиповерховому шести-під'їзному житловому будинку (1971 року забудови) між першим і другим під'їздами сталося раптове руйнування несучих конструкцій з першого по п'ятий поверхи.



Рис. 6. Обрушення п'ятиповерхового будинку, м. Луцьк

Багатим на надзвичайні випадки став для одеситів 2012 рік. 12 квітня 2012 року в одному з одеських будинків завалився дах, а за ним упала і стіна, лише дивом ніхто не постраждав – мешканців квартир не було вдома. Дім знаходився в аварійному стані та частково виселений. Руйнування відбулося внаслідок втрати несучих властивостей конструкцій дерев'яних балок покрівлі.

22 січня 2012 року м. Одеса обрушилася зовнішня стіна триповерхового житлового будинку на вулиці Лазарєва, 27. Зруйнований фрагмент стіни з першого по другий поверх на площі 3х7 м.

30 січня 2012 року в обрушився фрагмент верхньої частини фасадної стіни житлової двоповерхової будівлі на 12 квартир у Приморському районі Одеси на вул. Пішонівська, 14. Будинок знаходився в аварійному стані і був частково відселений, мешканці проживали лише у 8 квартирах.

Є багато будівель і споруд і у промисловому секторі, аварії на яких можуть призвести до суттєвих збитків навколишньому середовищу. Причини аварії промислових будівель все ті ж.

Наведемо декілька яскравих прикладів аварій у цьому секторі.

6 червня 2012 року у м. Одесі звалилася фасадна стіна колишнього заводу «Оріон» на вул. Лазарєва, 72. Стіна обвалилася на трамвайні колії, що проходять повз заводу. Постраждалих нема.

10 червня 2010 року в Дрогобичі Львівської області сталося обвалення стіни на недіючому цегельному заводі «Кераміка». За попередніми даними, обвал стався під час несанкціонованого демонтажу будівельних конструкцій, що спричинило раптове обвалення залізобетонного перекриття площею 150 квадратних метрів і несучої цегляної стіни площею 120 квадратних метрів. У результаті одна людина загинула, ще двоє були травмовані.

27 листопада 2012 року в м. Глобино Полтавської області під час демонтажу стіни колишнього цегельного заводу стався обвал стіни, внаслідок чого загинула одна людина.

25 вересня 2012 року в м. Калуш Івано-Франківської області на території державного підприємства Калійний завод «Оріана» сталося обвалення стіни цеху під час її демонтажу. В наслідок інциденту загинула одна людина.

15 лютого 2010 року в м. Дніпропетровськ обвалилася покрівля ковальського цеху на виробничому об'єднанні «Південний машинобудівний завод ім. Макарова». За попередніми даними, причиною обвалу стало скупчення снігових мас на даху триповерхової будівлі. Площа обрушення становила 500 метрів квадратних. Жертв немає.

У другій половині серпня 2009 року сталося одночасно дві аварії на території колишніх цукрових заводів. Так, 18 серпня 2009 року в місті Деражня Хмельницької області під час несанкціонованих робіт з демонтажу металоконструкцій на цукровому заводі

обвалилося перекриття між 2 і 3 поверхами. Утворився завал висотою 3,5 м і площею близько 600 кв. м, під якими загинула одна людина і троє опинилися в лікарні з тяжкими травмами.

19 серпня 2009 року в місті Сатанов завалився недіючий цукровий завод. Як і в попередньому випадку, обвал стався під час несанкціонованого демонтажу металоконструкцій. Одна людина загинула.

11 лютого 2011 року на криворізькому комбінаті обвалилася залізобетонна дах площею 4,8 тис. кв. м.

17 лютого 2011 року в м. Києві обвалився дах торговельного центру «SkyMall». Площа обвалення сягає 500 кв. м. Травмовано людину. За даними, ЗМІ обвалення сталося внаслідок руйнування металевих конструкцій перекриття між стелею та дахом центру.

11 грудня 2012 року на території криворізького комбінату ВАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» обвалився залізобетонний дах площею 4,8 тис. кв. м. Жертв і постраждалих немає.

Таких випадків по всій Україні за досліджений період досить багато і тенденції до зниження рівня аварійності, на жаль, не передбачається. На території України ще є категорія будівель та споруд, яку можна віднести до так званих потенційно небезпечних.

Так, певний час Інтернет рядів заголовками «Чорнобиль очікує друга катастрофа». Йшлося про нову вентиляційну трубу (НВТ-2), збудовану в листопаді 2011 році. Проте вже через півроку, під час чергової інспекції групи управління проектом виявилось, що вентиляційна труба тримається практично на чесному слові. На металевих конструкціях НВТ-2 було виявлено 14 тріщин зварних швів (рис. 7).



Рис. 7. Тріщини нової вентиляційної труби (НВТ-2) Чорнобильської АЕС

Аналіз вірогідних причин появи тріщин вказує на наявність у багатьох елементах конструкції внутрішніх напружень, що є наслідком невдалої технології збирання та зварювання. На рис. 7 видно, що усі тріщини у вузлах НВТ-2 проходять по шву або біляшовної зони, або починалися від шва, тобто завжди були пов'язані з залишковими напруженнями, що вказує на неякісне виконання зварних з'єднань. Багато питань викликає і відсутність болтових з'єднань у місцях, де вони передбачені, що також є концентратором внутрішніх напружень (рис. 8).

Таким чином, тріщини в металоконструкціях НВТ-2 є результатом крихкого руйнування металу шву під дією внутрішніх напружень, що є наслідком використання неякісних матеріалів, низької культури зварювання та недостатньої кваліфікації зварювальників.

Нова вентиляційна труба повинна забезпечувати «підтягування» повітря у приміщення блоків, тим самим забезпечувати нормальні умови роботи людей та експлуатації обладнання. Тому вихід з ладу НВТ-2 призведе до втрати системи вентиляції четвертого енергоблоку, в найгіршому випадку, а це обвал конструкції – до нової катастрофи.



Рис. 8. Відсутність болтових з'єднань нової вентиляційної труби (НВТ-2) Чорнобильської АЕС

Висновки. Таким чином, на підставі проведеного аналізу причин аварій будівель та споруд різного призначення, що сталися на території України за останні п'ять років, можна зробити висновки, що найбільш незахищеним є житловий сектор, в якому аварійність сягає більш ніж 35 %. Тому основними причинами аварій можна виділити:

- недбалість комунальних господарств;
- низький рівень, а подекуди і відсутність технічного нагляду за станом будівель та споруд;
- невиконання вимог безпеки під час виконання робіт по реконструкції або ліквідації об'єктів.

За результатами досліджень побудовано гістограму аварійності будівель та споруд різного призначення за досліджуваний період (рис. 9).

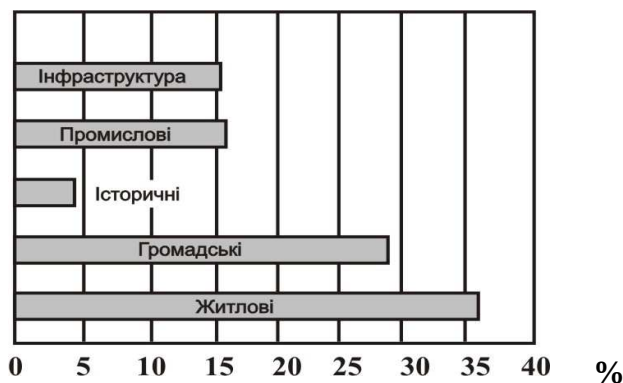


Рис. 9. Аналіз аварійності будівель та споруд різного призначення

Всю інформацію про аварії взято виключно із засобів масової інформації, але далеко не всі випадки подібного характеру піддаються розголосу, це значною мірою ускладнює процес ведення статистичних даних.

Можна назвати велику кількість заходів по попередженню аварій будівель та споруд, але слід реально оцінювати ситуацію, і далеко не всі вони можуть бути реалізовані на практиці.

До тих заходів, що можуть бути реально реалізовані, можна віднести такі [5]:

1. Необхідність проведення класифікації будівель та споруд за ступенем їх небезпеки.
2. Визначення вимог безпеки для кожної з груп.
3. Створення загального реєстру об'єктів, що представляють реальну небезпеку для країни.

4. Підвищити якість моніторингу технічного стану будівель та споруд як житлового, так і промислового призначення, це досягається через:

- збільшення кількості періодичного та позапланового технічного нагляду;
- посилення вимог до організацій та спеціалістів технічного нагляду за будівництвом як на етапі забудови, так і задовго після здачі її в експлуатацію;
- доукомплектації або переукомплектації служби технічного нагляду за безпечною експлуатацією будівель та споруд відповідно до нормативних вимог.

5. Своєчасне виведення із експлуатації будівель та споруд, що знаходяться в аварійному стані.

Список використаних джерел

1. Лашенко М. Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений / М. Н. Лашенко // Издательство литературы по строительству. – Ленинград, 1969.
2. Режим доступу: www.techros.ru.
3. Ерёмин К. И. Причины и последствия аварий зданий и сооружений / К. И. Ерёмин, Н. А. Шишкина // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – М., 2010.
4. Гарькин И. Н. Анализ причин обрушений промышленных зданий / И. Н. Гарькин // Технические науки: проблемы и перспективы : материалы Междунар. заоч. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2011 г.). – СПб. : Реноме, 2011. – С. 27-29.
5. Пермяков М. Б. Аварии промышленных зданий: анализ причин / М. Б. Пермяков // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – М., 2010.

УДК 001.24:004.056.5(043.2)

Я.В. Жарій, канд. техн. наук

Н.І. Гавриленко, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

О.О. Череднікова, комерційний директор

ПАТ «Чернігівська кондитерська фабрика «Стріла»», м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПОЯВИ НЕЯКІСНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Я.В. Жарий, канд. техн. наук

Н.И. Гавриленко, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Е.О. Чередникова, коммерческий директор

ПАО «Черниговская кондитерская фабрика «Стрела»», г. Чернигов, Украина

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ПОЯВЛЕНИЯ НЕКАЧЕСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Yadviha Zhariy, PhD in Technical Sciences

Nelia Havrylenko, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Olena Cherednikova, commercial director

OJSC «Chernihiv Confectionery Factory «Strila»», Chernihiv, Ukraine

THE MANAGEMENT PECULIARITIES OF SUBSTANDARD PRODUCTS RISK EMERGENCE

Досліджено небезпечні ситуації процесу виробництва харчової продукції, виявлено можливі причини утворення дефектів та запропоновано методи оброблення статистичних даних для оцінювання ризиків появи неякісної продукції.

Ключові слова: якість, безпека продуктів харчування, система HACCP, критичні контрольні точки, ризики, критичні межі.

Исследованы небезопасные ситуации процесса производства пищевой продукции, выявлены возможные причины образования дефектов и предложены методы обработки статистических данных для оценки рисков появления некачественной продукции.

Ключевые слова: качество, безопасность продуктов питания, система HACCP, критические контрольные точки, риски, критические границы.

The article explores the dangerous situation of food products production process. It discovers the possible reasons of defects formation and suggests methods of statistical data processing and risk assessment of substandard products.

Key words: quality, food safety, HACCP, critical control points, risks, critical limits.

Постановка проблеми. Безпека сировини і продукції (особливо продовольчої) є однією з вирішальних складових економічної безпеки будь-якої держави і визначається спроможністю країни ефективно контролювати виробництво та ввезення якісного продовольства на загальноновизначених у світі засадах. Безпеку продуктів харчування взагалі слід вважати чинником національної безпеки, оскільки вона відіграє першочергову роль у визначенні рівня життя у країні, конкурентоспроможності країни на міжнародному ринку, стабільності національної валюти тощо.

У сучасних умовах люди не можуть почувати себе безпечно, коли купують продукти харчування, оскільки все менше довіряють якості вироблених продуктів. Головними причинами цих негативних проявів серед людства є:

- хімізація виробництва із забрудненням продуктів харчування шкідливими речовинами (нітратами, пестицидами, радіонуклідами та ін.);
- генна модифікація продуктів харчування (хоча наслідки їх впливу на людину, її життя і здоров'я ще не повністю досліджені);
- невідповідність системи контролю в нашій країні за безпекою та якістю продуктів харчування вимогам СОТ та Європейського Союзу.

Отже, ця тема є дуже актуальною, адже підтримання якості та безпечності харчової продукції на належному рівні забезпечить не лише стан здоров'я людей, а й конкурентоспроможність вітчизняних підприємств на внутрішньому та зовнішньому ринках. Крім цього, наша країна має активно запроваджувати можливості сучасних систем управління якістю продукції, у тому числі, через налагодження співпраці з провідними світовими компаніями, що вже мають багаторічний досвід надання технічних послуг, сертифікації та менеджменту. Ці кроки є особливо важливими у зв'язку зі вступом України до СОТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематикою питань безпеки та якості продуктів харчування глибоко зацікавлена більшість людей, оскільки кожному не байдуже як власне самопочуття, так і суспільне здоров'я. Для нормальної життєдіяльності людині необхідний повноцінний набір продуктів харчування з врахуванням її індивідуальних особливостей, характеру та умов проживання.

Особливу увагу цій проблемі приділяють і вчені, висвітлюючи проблеми та актуальні питання безпеки харчування: А.В. Бабюк, А.А. Дубініна, А.К. Запольський, О.В. Макарова, М.С. Рогозинський, Л.В. Романів, Л.Д. Титаренко, О.Є. Федорова та інші. Зазначеними науковцями приділено увагу якості харчової продукції, засобам і методам її експертизи для виявлення підробок та запропоновані цінні підказки щодо розпізнавання фальсифікатів [6; 8; 12].

А. Українець, М. Калакура, Л. Романенко у своїй праці [3] висвітлюють теоретичні основи технології харчових продуктів, їх фізичні, хімічні, біохімічні та технологічні закономірності. Особливу увагу приділено класифікації харчовим та біологічно активним добавкам до харчових продуктів.

У підручнику П.Х. Пономарьової викладено ставлення до генетично модифікованих продуктів у світі та в Україні, розглянуто потенційні ризики від уживання такої продукції та окремі методи визначення генетично модифікованих інгредієнтів у продовольчій сировині [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Вживання безпечної харчової продукції з максимально збереженими (незамінними) харчовими якостями – це проблема не тільки споживча, але й економічна, технологічна, соціальна та політична. У зв'язку з цим гостро постають питання, пов'язані з підвищенням відповідаль-

ності за ефективність і об'єктивність контролю якості сировини, дотриманням правил ведення технологічних процесів, перероблення, пакування, зберігання та реалізації готової продукції. Як підтверджує сучасна міжнародна практика, зобов'язання перед суспільством за дотримання безпеки харчування насамперед повинен нести виробник, а держава – залишати за собою контрольні функції.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є здійснення аналізу небезпечних ситуацій у процесі виробництва харчової продукції, виявлення причин утворення дефектів, пропонування методів ідентифікації спеціальних чинників, що викликають нестабільність виробничої системи, для подальшого оцінювання ризиків появи неякісної продукції.

Виклад основного матеріалу. Міжнародні продовольчі ринки є дуже розвиненими, тому боротьба за якість та безпеку харчової продукції йде в усьому світі і не призупиняється, оскільки кількість учасників цих ринків збільшується. На поточний момент у світі можна знайти різні стандарти щодо якості продуктів харчування, у тому числі і приватні стандарти, які є «добровільними».

Найбільш відомим Європейським стандартом (у порівнянні з приватними стандартами) є ISO 9001:2000, хоча він не відігравав значної ролі щодо безпеки продуктів харчування. Тому Міжнародною Організацією Стандартизації (ISO) розроблено новий стандарт – Стандарт менеджменту безпеки продуктів харчування ISO 22000:2005. Він є міжнародним і встановлює вимоги щодо системи менеджменту безпеки продуктів харчування, включаючи всі організації харчового ланцюга від фермерських господарств до постачання продуктів харчування, включаючи пакування. Структура ISO 22000:2005 наближена до ISO 9001:2000 і основною метою зазначеного стандарту є відповідність принципам системи НАССР з поширенням інформації та гармонізацією добровільних міжнародних стандартів [7].

Нині систему управління безпечністю харчових продуктів на основі концепції НАССР застосовують практично в усьому світі як надійний захист споживачів від небезпек, які можуть супроводжувати харчову продукцію. Запровадження систем управління безпечністю харчових продуктів вимагає законодавство Європейського Союзу, США, Канади, Японії, Нової Зеландії та багатьох інших країн світу. Країни Європи та СНД, як основні торговельні партнери (і конкуренти) України, також ставлять обов'язкову умову виготовлення та переміщення готової продукції з дотриманням міжнародних стандартів, що засновані на принципах НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) [11].

Система НАССР (що у перекладі означає «Аналіз ризиків і критичні контрольні точки») була розроблена і впроваджена в 60-х роках XX ст. у США в ході створення харчових продуктів для американських космічних програм. Ця система заснована на оцінці вірогідності виникнення небезпек на будь-якій стадії виробництва і реалізації продукції з метою запобігання, зниження або усунення цих небезпек. Введення НАССР означає перенесення акценту з ґрунтовної перевірки готової продукції на профілактичний контроль за небезпеками на всіх етапах життєвого циклу харчової продукції. Система нині є основною моделлю управління якістю та безпекою харчових продуктів у промислово розвинених країнах світу. Система НАССР – гнучка, легко керована система забезпечення гарантованої безпеки, що сприяє подоланню технічних бар'єрів у торгівлі між країнами.

В Україні застосування системи НАССР (ХАССП) є обов'язковим для всіх підприємств, які займаються виробництвом або введенням в обіг харчових продуктів. Цього вимагають Закони України «Про безпечність та якість харчових продуктів» (ст. 20) та «Про дитяче харчування» (ст. 9). Крім цього, в Україні з 01.07.2003 р. діє національний стандарт ДСТУ 4161-2003 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги» та з 01.08.2007 р. набув чинності національний стандарт ДСТУ ISO 22000:2007 (ідентичний міжнародному стандарту ISO 22000:2005). Обидва ці стандарти ґрунтуються на принципах НАССР і на засадах системного керування, хоча є певні складнощі

для вітчизняних підприємств щодо виконання вимог стандарту ДСТУ ISO 22000 (наприклад, для тих, що мають орендовані, а не власні виробничі приміщення).

Вимоги стандарту мають бути враховані для створення системи управління безпечністю харчових продуктів всіма організаціями, які безпосередньо чи опосередковано беруть участь у харчовому ланцюзі, наприклад:

– виробниками кормів, фермерами, виробниками інгредієнтів, виробниками та постачальниками харчових продуктів, підприємствами роздрібною та гуртовою торгівлі, підприємствами громадського харчування, організаціями, які надають послуги з транспортування, зберігання та дистрибуції, послуги з миття та дезінфекції і т. ін.;

– виробниками та постачальниками обладнання для харчової промисловості, мийних та дезінфекційних засобів, добрив, пестицидів та ветеринарних препаратів, пакувальних та інших матеріалів, що контактують з харчовими продуктами і т. ін.

Запровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на підприємстві – тривалий процес, який стосується всіх служб і всього персоналу. Він не обмежується лише розробленням документації та наведенням елементарного порядку на виробництві. Для запровадження дієвої системи управління безпечністю харчових продуктів необхідно, передусім, навчання найвищого керівництва, групи НАССР, персоналу, що виконує роботи, які впливають на безпечність продуктів, та осіб, відповідальних за здійснення оперативного контролю. Може виникнути потреба в перегляді вимог до постачальників сировини та матеріалів, заміні технологічних процесів та методів пакування, або навіть у переплануванні приміщень чи заміні виробничого устаткування.

Але найважливішим, мабуть, є те, що у процесі запровадження системи змінюється психологія працівників усіх рівнів, приходить усвідомлення важливості питань, пов'язаних з безпечністю продукції, формується розуміння того, яким має бути сучасне управління організацією, щоб досягнути найбільшої результативності щодо забезпечення якості харчової продукції.

Систематичну ідентифікацію, оцінювання та управління небезпечними факторами, що впливають на безпеку продуктів харчування, дозволяє здійснити превентивна система НАССР. Її особливістю є вивчення кожного етапу проходження харчової продукції, а методи охоплюють: аналіз ризиків і небезпек; визначення потенційних дефектів продукції; превентивний контроль; відповідальність і звітність. Система НАССР не є гарантією безпеки продуктів харчування, вона призначена для зменшення ризиків появи неякісної продукції та є ефективним механізмом для захисту торгової марки виробника під час просування товарів на ринок.

Система НАССР ґрунтується на семи принципах:

- 1) проведення аналізу небезпечних чинників, яких слід уникати або зводити до мінімуму;
- 2) визначення критичних контрольних точок (ККТ) на кожному з етапів виробництва, зберігання та реалізації продукції;
- 3) встановлення лімітів (критичних меж) у критичних контрольних точках;
- 4) розроблення ефективних процедур спостереження (системи моніторингу ККТ);
- 5) планування коригувальних дій на випадок, коли моніторинг покаже, що конкретна ККТ перебуває поза межами керування;
- 6) встановлення процедур перевірки ефективності функціонування системи НАССР;
- 7) встановлення порядку документування всіх процедур та ведення протоколів і баз даних відповідно до цих принципів.

Небезпечні ситуації у виробництві харчової продукції можуть виникнути на будь-якому етапі, однак особливу увагу слід звернути на критичні контрольні точки, в яких усі види ризиків, пов'язаних із вживанням харчових продуктів, можуть бути усунені або знижені до прийняттого рівня в результаті цілеспрямованих заходів контролю. Тобто у

процесі створення системи управління якістю продукції виробнику харчової продукції в основу цієї системи необхідно покласти проведення ретельного аналізу ризиків (за допомогою оцінювання значущості потенційно небезпечних чинників на усіх етапах життєвого циклу харчової продукції, підконтрольних підприємству) та вироблення профілактичних заходів для запобігання чи зведення до мінімуму виявлених небезпечних чинників.

Незалежно від виду продукції причин утворення небезпечних чинників (дефектів) чимало, і вони полягають у несталості вхідних параметрів. На результати роботи (вихідні параметри якості продуктів) впливають: сировина та матеріали, технологія та режими виготовлення, обладнання та інструмент, кваліфікація робітників тощо. Через вплив великої кількості випадкових вхідних факторів характеристики виробничих процесів та параметри їх результату змінюються в певних межах і також є випадковими величинами.

Сучасна математична статистика [2; 4; 5] дозволяє для прийняття рішень в умовах невизначеності застосовувати методи визначення кількості необхідних випробувань до початку дослідження, а у ході досліджень використовувати відповідні методи проведення статистичного аналізу даних з використанням загальновідомих показників (математичне очікування, дисперсія, середнє квадратичне відхилення випадкової величини, коефіцієнт варіації та ін.).

На практиці під час проведення аналізу здебільшого мають справу не з усією генеральною сукупністю значень випадкової величини, а з певною обмеженою кількістю її значень (вибіркою), що отримана за рахунок вимірювань. Тому, виявляючи області потенційного ризику, виробник має встановлювати межі розсіювання значень випадкової величини – розмах варіації R для кожної ККТ (критичної контрольної точки).

Одним з найпростіших показників, що характеризують варіацію випадкової величини, є різниця між її максимальним $X_{\max}$ та мінімальним $X_{\min}$ значеннями:

$$R = X_{\max} - X_{\min}. \quad (1)$$

У ході проведення діагностики процесу виробництва досить швидко (через порівняння) можна визначити потрапляння досліджуваного параметра в зазначений інтервал $[X_{\min}, X_{\max}]$. Суттєве відхилення параметра якості продукції (випадкової величини x_i) з виходом його за межі цього інтервалу свідчить про підвищений ризик вироблення неякісної продукції. У таких ситуаціях необхідно швидко виявити причини виникнення дефектів та застосувати коригувальні дії.

Математичне очікування випадкової величини x_i (при нормальному розподілі) має наближуватися до середнього арифметичного значення вибірки $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2)$$

Середнє квадратичне відхилення, обчислене за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \quad (3)$$

де σ буде показувати, на скільки одиниць у середньому індивідуальні значення досліджуваного параметра відхиляються від середнього значення.

Коли параметр якості продукції вимірюється протягом деякого часу, то вивчення результатів такого вимірювання дозволяє підрахувати математичне очікування вихідного результату в ККТ та його середнє квадратичне (стандартне) відхилення, і передбачати параметри протікання процесу в майбутньому. Але для цього необхідно, щоб процес, який контролюється, був стійким. Процес вважається стійким (стабільним,

стаціонарним), якщо значення його характеристик, які вимірюються, знаходяться в заданих межах з певною, наперед визначеною виробником, імовірністю.

Ознаками стабільного, контрольованого процесу є: постійна форма кривої розподілу, постійні значення математичного очікування та стандартного відхилення. Якщо форма кривої розподілу випадкової величини, яка характеризує результат процесу, не є постійною або змінюються значення математичного очікування чи стандартного відхилення, це свідчить про те, що процес є нестабільним, тобто неконтрольованим. І на це може бути окрема причина, яку називають спеціальним чинником. Зробити процес стійким (тобто контрольованим) можна тільки після встановлення та усунення такого спеціального чинника, що і є важливим завданням у системі НАССР.

Оскільки для пошуку спеціального чинника пропонується користуватись вибірко-вим спостереженням, а не суцільним (на основі генеральної сукупності), слід відзначити особливості застосування цього підходу.

Вибіркове спостереження має певні переваги перед суцільним, оскільки потребує менших затрат часу і матеріальних ресурсів виробника, забезпечує зменшення помилок документування та реєстрації. Дані, що отримані з вибіркової сукупності, більш доступні, швидше обробляються та можуть слугувати основою для висновків відносно властивостей генеральної сукупності.

Однак ці переваги вибіркового спостереження забезпечуються тільки за умови використання репрезентативної (представницької) вибірки. Репрезентативною вважається така вибірка сукупність, коли відбір здійснюється випадковим чином, але кожен елемент генеральної сукупності має однакову ймовірність потрапити у вибірку. Якщо між показниками генеральної та вибіркової сукупностей є розбіжності (або частина характерних і важливих ознак взагалі не потрапляє до вибірки), то може бути значна похибка вибірки, зумовлена і випадковими, і систематичними чинниками. Особливий вплив на цю похибку має розбіжність у законах розподілу параметрів якості продукції, що контролюються виробником.

Отже, для аналізу даних з метою виявлення спеціальних чинників, які викликають нестабільність виробничої системи, необхідно сформувати повноцінну вибірку сукупність з погляду репрезентативності. Хоча, як уже було зазначено, збільшення обсягу вибірки ускладнює процес аналізу та інтерпретації даних, але необхідно пам'ятати, що чим більший обсяг вибіркової сукупності, тим більше користі можна отримати від такої вибірки під час пошуку симптомів неякості продукції. Для такого процесу критерій «економія має бути розумною» є дуже доречним.

Формування вибіркової сукупності може здійснюватись різними методами, найбільш відомими з яких є так звані «сім інструментів якості» [1; 10; 13]:

1) контрольні листки – це документи, які містять дані у форматі таблиць. Основною вимогою до таблиць для ясності сприйняття та легкості використання даних є оптимальна їх структура (без перевантаження зайвими стовпчиками);

2) гістограми – це графічне зображення результатів вимірювання досліджуваних параметрів. Будуються за таблицями даних і можуть являти собою стовпчикові графіки. Висота кожного стовпчика пропорційна кількості вимірів у цьому інтервалі, що дозволяє миттєво оцінити характер розподілу експериментальних даних;

3) контрольні карти Шухарта – це графічний засіб оцінювання певної ознаки якості, виміряні значення якої наносяться на графік відповідно до порядку отримання їх у часі. На карті нанесено три горизонтальні лінії: центральна лінія та верхня і нижня контрольні границі. Центральна лінія відображає деяке усереднення поточних значень контрольованого параметра. Верхня та нижня контрольні границі розташовані на відстані $\pm 3\sigma$, де σ є стандартним відхиленням. За правилом Шухарта [13], спеціальний чинник зробить виробничу систему нестабільною, якщо значення контрольованого параметра виходить за межі будь-якої з контрольних границь;

4) діаграма «причини-наслідки» – це графічна ілюстрація процесу виявлення якогось спеціального чинника, що є причиною браку, і цю причину необхідно відшукати та усунути. Сама діаграма «причини-наслідки» (рис. 1) не вирішує проблему, а тільки допомагає її поставити, що дуже важливо на початку роботи. Після цього кожен з робітників, що займаються якістю, пропонує гіпотези, які перевіряються за допомогою статистичних методів дослідження. Після цього виробляються рішення щодо усунення причин неякісності;

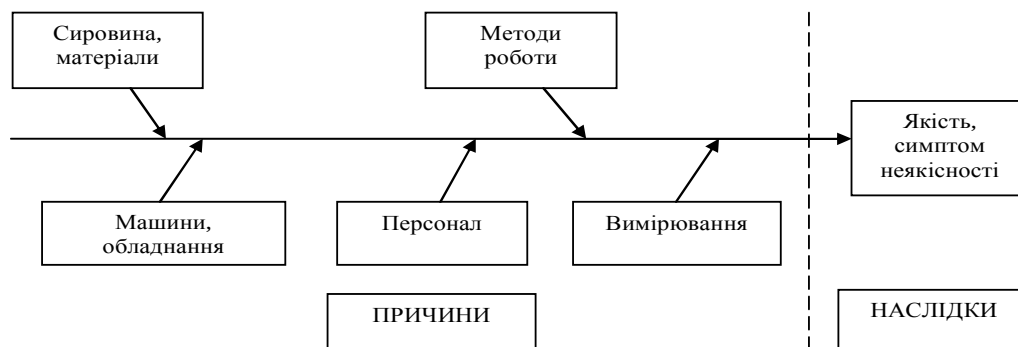


Рис. 1. Діаграма «причин та наслідків»

5) діаграма Парето є графічним зображенням даних, де на осях координат відкладаються види проблем (або типи дефектів) та величини значимості проблем (кількість дефектів, відсоток браку, вартість браку тощо). Різні класи проблем чи об'єктів зображуються прямокутниками, висота яких пропорційна ступеню їх значимості. На діаграмі може наноситися ламана лінія, яка показує сукупну значимість різних класів проблем, починаючи з найбільш значимого (рис. 2);

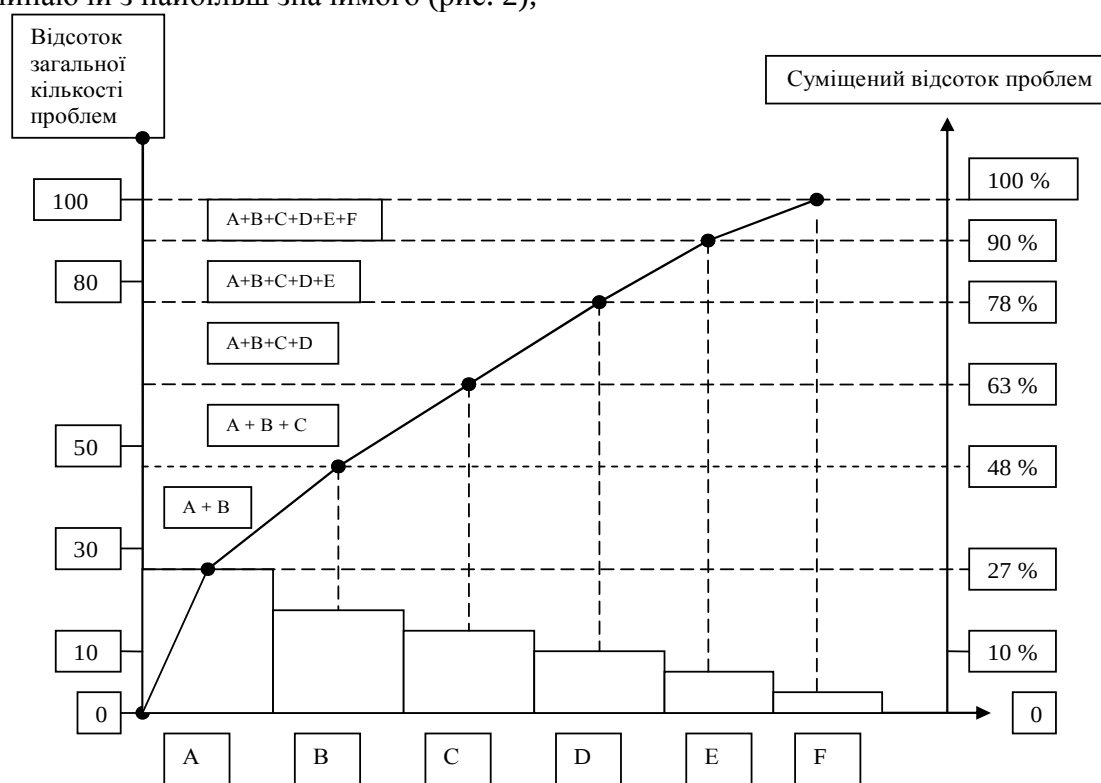


Рис. 2. Діаграма Парето

6) діаграма кореляції – це графік, який характеризує взаємозв'язок між двома величинами. При цьому наявність кореляції можна побачити на графіку візуально, якщо розташування точок має досить витягнутий характер. Оцінити ступінь кореляційної залежності (міри щільності зв'язку) двох ознак якості можна за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (4)$$

де r – коефіцієнт кореляції, який змінюється в межах $r \in [-1, +1]$, і чим більше його абсолютне значення, тим сильнішим є зв'язок між фактором та параметром якості.

7) групування даних – це вибір з усієї сукупності даних (за певною ознакою або згідно з визначеним принципом) та їх віднесення до певної групи даних. За допомогою групування можуть бути створені умови, за яких отримані дані є більш однорідними і це дозволить визначити наявність кореляції там, де інакше вона не спостерігається.

Наведеними методами формування вибіркової сукупності (інструментами якості) виробнику харчової продукції необхідно користуватись на всіх стадіях виробничого циклу – від вхідного контролю за сировиною до постачання продукції користувачу.

Висновки і пропозиції. Таким чином, запровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепції НАССР з використанням наведених підходів до аналізу та інтерпретації даних надає підприємству-виробнику можливість:

- гарантувати випуск безпечної продукції за рахунок систематичного контролю на всіх стадіях виробництва;

- вчасно виявляти небезпечні чинники та належним чином керувати ризиками появи неякісної продукції;

- забезпечувати належні умови виробництва відповідно до міжнародних стандартів;

- укріплювати довіру споживачів, замовників та органів нагляду до продукції, що виробляється.

Без координації зусиль з випуску якісної та безпечної харчової продукції успішний процес інтеграції України у світове економічне співтовариство не можливий. Для реалізації цих завдань на підприємствах харчової промисловості необхідно активізувати розроблення та впровадження системи управління якістю та безпечністю продукції на основі принципів НАССР. Це покращить якість продуктів харчування, підвищить імідж наших виробників для виходу на зовнішні ринки, посприє залученню інвестицій та зростанню вартості підприємств. І приклади цьому в Україні є, оскільки нині вітчизняні підприємства, що відповідають вимогам системи НАССР, представлені на ринках країн ЄС та СНД (ДП «Мілкіленд-Україна», Завод хлібобулочних напівфабрикатів ПАТ «Концерн Хлібпром» (Львів), «Овостар Груп», Львівська кавова фабрика «Галка», компанія «Галицька здоба», ПП «Кока-Кола Беверіджиз Україна», «МЕТРО Кеш енд Керри Україна» та інші).

Список використаних джерел

1. Андрусенко С. І. Принципи та інструменти управління якістю : навчальний посібник / С. І. Андрусенко, О. С. Бугайчук. – К. : НТУ, 2006. – 72 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – [7-е изд.]. – М. : Высш. шк., 2001. – 479 с.
3. Загальні технології харчових виробництв : підручник / В. А. Домарецький, П. Л. Шиян, М. М. Калакура, Л. Ф. Романенко та ін. ; за наук. ред. М. М. Калакура, Л. Ф. Романенко. – К. : Університет «Україна», 2010. – 813 с.
4. Захожай В.Б. Статистичне забезпечення управління якістю: навчальний посібник / В. Б. Захожай, А. Ю. Чорний. – К. : Центр навчальної літератури, 2005. – 340 с.
5. Лапач С. М. Статистичні методи в медико-біологічних дослідженнях із застосуванням Excel / С. М. Лапач, А. В. Чубенко, П. М. Бабіч. – [2-ге вид.]. – К. : МІРІОН, 2001. – 408 с.
6. Методи визначення фальсифікації товарів : підручник / А. А. Дубініна [та ін.]. – К. : Професіонал ; Центр навчальної літератури, 2010. – 270 с.

7. Міжнародний стандарт ISO 22000:2005 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.certsystems.kiev.ua/uk/dstu-4161-ili-iso-22000/sistemi-upravlinnya-bezpekoxy-xarchovix-produktiv-xassp-za-dstu-4161-abo-iso-22000.html>.

8. Основи експертизи продовольчих товарів : навчальний посібник для студентів вузів / В. Малигіна [та ін.]. – К. : Кондор, 2009. – 295 с.

9. Пономарьова П. Х. Генетично модифікована продовольча сировина і харчові продукти, вироблені з її використанням / П. Х. Пономарьова. – К. : Центр навчальної літератури, 2009. – 124 с.

10. «Семь инструментов качества» в японской экономике. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 88 с.

11. Стандарт SERVER HACCP 22000-2012. Автоматизированное компьютерное приложение, созданное с учетом требований международного стандарта ISO 22000:2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://serha.ru/11c.php>.

12. Титаренко Л. Д. Ідентифікація та фальсифікація продовольчих товарів / Л. Д. Титаренко. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 189 с.

13. Shewhart W. Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control. – N.Y.: Dover Publ., Inc., 1939 (reprint 1986). – 163 p.

УДК 674.047

Т.В. Коваль, канд. фіз.-мат. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТОРЦЕВОЇ ЗОНИ ПІЛОМАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ЇЇ СУШІННЯ

Т.В. Коваль, канд. физ.-мат. наук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТОРЦОВОЙ ЗОНЫ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ СУШКИ

Tetiana Koval, PhD in Physical and Mathematical Sciences

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

MATHEMATICAL MODEL OF STRESS STATE OF THE END ZONE OF TIMBER IN THE PROCESS OF DRYING

Розроблена модель напруженого стану деревини у торцевій частині пиломатеріалів у процесі їх сушіння. Показано, що нерівномірний розподіл поля вологості вздовж осі сортименту на початковій стадії сушіння призводить до появи вологісних напружень. Сформульована та вирішена задача, яка дозволяє визначити величину вологісних напружень, які є причиною появи поверхневих торцевих тріщин. Показано, що внутрішня тріщина виникає переважно в зоні торця, як результат розвитку значних залишкових деформацій у зоні стискаючих напружень.

Ключові слова: математична модель, напружений стан деревини, вологісні напруження.

Разработана модель напряженного состояния древесины в торцевой части пиломатериалов в процессе их сушки. Показано, что неравномерное распределение поля влажности вдоль оси сортимента в начальной стадии сушки приводит к появлению влажностных напряжений. Сформулирована и решена задача, позволяющая определить величину влажностных напряжений, которые являются причиной появления поверхностных торцевых трещин. Показано, что внутренняя трещина появляется преимущественно в зоне торца как результат развития значительных остаточных деформаций в зоне сжимающих напряжений.

Ключевые слова: математическая модель, напряженное состояние древесины, влажностные напряжения.

Developed a model for the stress state of wood in the end part of the timber in the process of their drying. It is shown that the uneven distribution of field moisture along the axis of assortment in the initial stage of drying leads to the appearance of moisture stress. Formulated and solved the problem allows to determine the amount of moisture stress, which are the cause of the surface of the end cracks. It is shown that internal crack appears mainly in the area of butt-end as a result of the development of significant residual deformation in the zone of compression stresses.

Key words: mathematical model, the stress state of wood, moisture stress.

Постановка проблеми. Нерівномірне поле вологості за перетином та довжиною пиломатеріалів, що виникає під час їх сушіння, призводить до появи деформацій у матеріалі. Характер цих деформацій обумовлений властивостями деревини змінювати свої лінійні розміри залежно від вологості деревини. Зміна розмірів або усадка деревини складається з деформацій матеріалу за рахунок всихання, яка пропорційна перепаду

вологості та коефіцієнту всихання і деформацій, що виникли внаслідок внутрішніх напружень [1]. У зв'язку з тим, що найбільша кількість дефектів у процесі сушіння виникає в торцевій зоні сортиментів, виявлення причин та характеру розвитку цього дефекту сушіння є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз деформацій деревини у торцевій зоні пиломатеріалів свідчить про значну складність напруженого стану матеріалу в цій зоні, що обумовлено об'ємним напруженим станом деревини. Сучасні методи кількісного оцінювання напружень для цієї ділянки неможливо застосувати. Тому доцільно розглянути торцеву зону як напівобмежене тіло з нерівномірним полем вологості вздовж осі сортименту, що характерно для товстих дощок та брусів та пластини з нерівномірним полем вологості як вздовж осі сортименту, так і в поперечному напрямку, що характерно для тонких широких дощок.

При визначенні деформацій застосовувався метод послідовного зняття напружених шарів, використаний під час розроблення стандартного методу вимірювання внутрішніх напружень у деревині [2].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Характер деформацій, виявлених у процесі сушіння, показує, що на відміну від відомих закономірностей розвитку напружень, у внутрішній частині торцевої зони виявляється зміна величини напруження залежно від відстані до торця. Причину цих розходжень необхідно шукати в закономірностях усадки деревини у процесі сушіння.

Мета статті. Головна мета роботи полягає в визначенні причин та закономірностей розвитку торцевих тріщин у пиломатеріалах у процесі сушіння.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо задачу визначення напружень по осі сортименту на початку процесу сушіння при фактичному розподіленні величини усадки за довжиною матеріалу. Враховуючи, що поблизу торця розподіл вологості за перетином сортименту наближається до рівномірного, причина виникнення торцевих тріщин обумовлена нерівномірним розподілом вологості за довжиною пиломатеріалів, тобто напружений стан можливо розглядати як одноосний. Тоді розрахункова схема має вигляд, зображений на рис. 1.

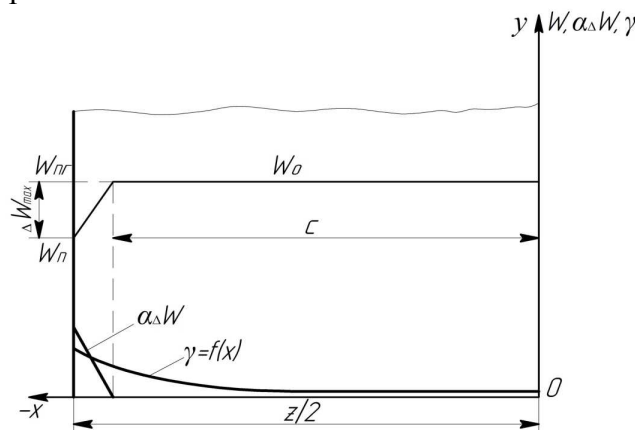


Рис. 1. Схема до розрахунку вологісних напружень за довжиною дошки:
 $z/2$ – довжина сортименту; C – величина внутрішньої зони; ΔW перепад вологості;
 W_0 – початкова вологість; $\alpha \Delta W$ – величина всихання; $\gamma = f(x)$ – величина усадки

Основні рівняння для цієї статично невизначеної задачі такі:

Рівняння статички в інтегральній формі:

$$\sum y = 0 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \sigma dx = 0, \quad (1)$$

$$\sum M_0 = 0 \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \sigma x dx = 0. \quad (2)$$

Рівняння деформацій:

$$\varepsilon = \alpha \Delta W - \gamma, \quad (3)$$

де ε – деформація;

α – коефіцієнт всихання;

$\Delta W = W_0 - W_x$ – перепад вологості;

γ – врівноважена деформація.

Величиною врівноваженої деформації є відносна усадка, що визначається з виразу:

$$\gamma = \frac{l_n - l_0}{l_n}, \quad (4)$$

де l_n , l_0 – початкова та дійсна довжина шару.

Для спрощення задачі приймемо, що модуль пружності не змінюється за товщиною та довжиною сортименту.

Розглянемо початковий період сушіння пиломатеріалів, коли вологість у поверхневих шарах торця знижується за межу гігроскопічності. Розподіл вологості за довжиною дошки можливо прийняти у вигляді симетричної відносно осі «у» ламаної лінії, похилої у поверхневих шарах та горизонтальної, рівною W_{mg} у внутрішній зоні.

Тоді функція перепаду вологості запишеться таким чином:

$$\Delta W = \begin{cases} \frac{\Delta W_{\max}}{c - \frac{L}{2}} (x + c); npi - \frac{L}{2} \leq x \leq -c \\ 0; npi - c \leq x \leq +c \\ \frac{\Delta W_{\max}}{c - \frac{L}{2}} (x - c); npi + c \leq x \leq +\frac{L}{2} \end{cases}, \quad (5)$$

де $\Delta W = W_{mg} - W_x$; $\Delta W_{\max} = W_{mg} - W_n$;

c – глибина внутрішньої зони з вологістю нижче межі гігроскопічності.

Раніше в розрахунки вологісних напружень приймалися аналогічно гіпотезі плоских перетинів, коли функція врівноваженої деформації прямолінійна. Тоді напруження у внутрішній зоні матеріалу були постійними і не залежали від відстані до торця [3].

Характер усадки в сортиментах напівобмеженої форми, виявлений нами, показує, що у реальному матеріалі усадка суттєво залежить від відстані до торця. Ця залежність може описуватись логарифмічною кривою $\gamma = a \lg x + b$, де a і b – коефіцієнти; x – відстань від торця сортименту.

Тоді, використовуючи першу та другу умову рівноваги, можна записати:

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} E (\alpha \Delta W - a \lg x - b) dx = 0,$$

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} E (\alpha \Delta W - a \lg x - b) x dx = 0.$$

Після інтегрування та перетворень знаходимо:

$$\gamma = \alpha \Delta W_{\max} \left[\frac{(L^2 + 2Lc - 8c^2) \left(\ln x - \ln \frac{L}{2} + 1 \right)}{3L^2} + \frac{\frac{L}{2} - c}{L} \right],$$

$$\sigma = E \alpha \Delta W_{\max} \left[\frac{\frac{x-c}{L} - c}{\frac{L}{2} - c} - \frac{(L^2 + 2Lc - 8c^2) \left(\ln x - \ln \frac{L}{2} + 1 \right)}{3L^2} + \frac{\frac{L}{2} - c}{L} \right].$$

Розрахунки проведені за цією формулою і відомими залежностями, показують, що під час врахування реального розподілення усадки на епюрі напружень виникає максимум на ділянці напружень стиску в зоні торця. При цьому напруження у цій зоні в два рази більші порівняно з центральною частиною сортименту (рис. 2).

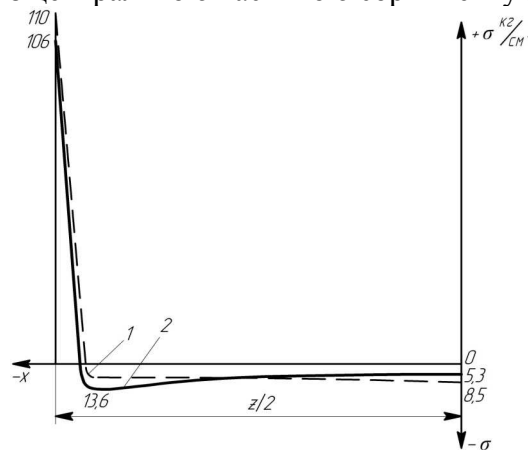


Рис. 2. Епюра напружень за довжиною пиломатеріалів на початковій стадії процесу сушіння:
1 – при $\gamma = \text{Const}$; 2 – при $\gamma = \text{alg}x + b$

Аналіз деформацій деревини у поздовжньому та поперечному напрямках сортименту дає уявлення щодо характеру напруженого стану у торцевій ділянці пиломатеріалу. Аналогічно характеру розповсюдження пружних деформацій можливо передбачити розвиток торцевих тріщин у пиломатеріалах. При висиханні поверхневої зони торця сортименту напруження розтягу захоплюють більшу область за довжиною дошки, углиблюючись від торця. Такий розвиток напружень розтягу може пояснити динаміку просування тріщин від торця вглиб сортименту під дією цих напружень. Відповідно до зниження градієнта вологості і збільшення залишкових деформацій розтягу в поверхневій зоні напруження розтягу зменшуються, що призводить до сповільнення росту поверхневих тріщин.

Друга стадія процесу сушіння характеризується виникненням напружень розтягу у внутрішній зоні пиломатеріалів, що сприяє появі внутрішніх тріщин – найбільш небезпечного дефекту сушіння деревини твердих листяних порід. Вони переважно розташовані у торцевій зоні сортименту. Тобто причина їх виникнення обумовлена впливом торця пиломатеріалу (рис. 3).

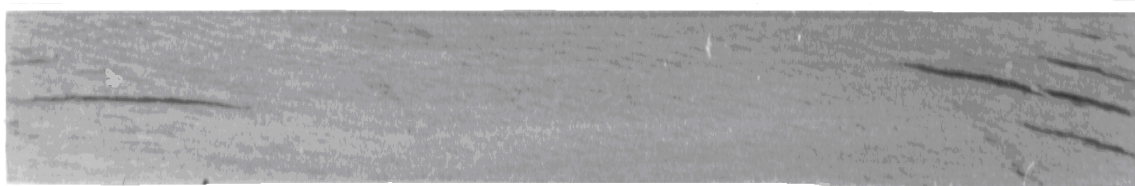


Рис. 3. Зразок дубової заготовки перетином 40 x 40 мм, розрізаної вздовж її осі

Як видно з рис. 3, поверхневі торцеві тріщини, що виникли під час порушення режимних параметрів процесу сушіння на початковій його стадії, закрились з поверхні, а під час продовження процесу сушіння і вирівнюванні вологості, у кінці процесу перетворились у внутрішні.

Висновки і пропозиції.

1. Нерівномірне поле вологості у подовжньому напрямку сортименту призводить до виникнення деформацій деревини, які за своєю величиною переважають відповідні деформації у поперечному напрямку. Це є першопричиною появи поверхневих торцевих тріщин.

2. Показано, що безпека виникнення внутрішніх тріщин у торцевій зоні вище, ніж у центральній частині заготовки, а їх утворення в більшості випадків можна розглядати як подовження поверхневих торцевих тріщин.

Список використаних джерел

1. Кречетов И. В. Сушка древесины / И. В. Кречетов. – М. : Бриз, 1997. – 496 с.
2. Уголев Б. Н. Деформативность древесины и напряжения при сушке / Б. Н. Уголев. – М. : Лесная пром-сть, 1971. – 176 с.
3. Акишенков С. И. Аналитическое определение внутренних напряжений в приторцовых зонах досок при их сушке / С. И. Акишенков // Материалы научно-технической конференции ЛТА. – Л., 1971. – С. 67-69.

УДК 674.09:674.093

Н.В. Марченко, канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТИ ТЕХНОЛОГІЇ ПИЛЯННЯ ДЕРЕВИНИ НА РАДІАЛЬНІ ПИЛОМАТЕРІАЛИ

Н.В. Марченко, канд. техн. наук

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА РАДИАЛЬНЫЕ ПИЛОМАТЕРИАЛЫ

Nataliia Marchenko, PhD in Technical Sciences

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

FEATURES OF TECHNOLOGY OF SAWING OF WOOD ON RADIAL SAW-TIMBERS

Розроблено модель модернізації механізму подачі та позиціонування стрічкопиляльних верстатів горизонтального типу для виробництва радіальних пиломатеріалів з деревини. Запропонована модель є одним з варіантів виробництва пиломатеріалів виключно радіального виду пиляння з круглих лісоматеріалів.

Ключові слова: радіальні пиломатеріали, горизонтальний стрічкопиляльний верстат, сектор, механізм подачі, рольганг.

Разработана модель модернизации механизма подачи и позиционирования ленточнопильных станков горизонтального типа для производства радиальных пиломатериалов из древесины. Предложенная модель есть одним из вариантов производства пиломатериалов исключительно радиального вида распиловки из круглых лесоматериалов.

Ключевые слова: радиальные пиломатериалы, горизонтальный ленточнопильный станок, сектор, механизм подачи, рольганг.

The model of modernization of infeed and positioning of band sawing machine-tools of horizontal type is worked out for the production of radial saw-timbers from wood. An offer model is one of variants of production of saw-timbers of exceptionally radial type of sawing from round commercial timbers.

Key words: radial saw-timbers, horizontal band sawing machine-tools, sector, infeed.

Постановка наукової проблеми. Сьогодні найбільша увага в технології лісопиляння приділяється схемам розкрою колод на основі індивідуального способу пиляння круглих лісоматеріалів [1; 2]. Пиляння колод цим способом здійснюється на стрічкопиляльних і круглопиляльних верстатах [3]. До того ж саме стрічкопиляльні верстати горизонтального типу за рахунок малої ширини пропилу в країнах з невеликими сировинними запасами займають лідируючу позицію.

Відомо [4], що пиломатеріали радіального та напіврадіального виду пиляння дають найкращий результат за формостійкістю і збалансованістю внутрішніх напружень, що виникають у конструкціях, а саме: брусків для віконного та дверного виробництва, стлярних щитів великого формату, дерев'яних балок тощо. Тому для підвищення виходу пиломатеріалів радіального виду розпили, що мають кут нахилу річних шарів до пластів дошки 60-90°, необхідно знайти раціональні способи розкрою круглих лісоматеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасна теорія розкрою пиловочної сировини на пиломатеріали дозволяє вирішувати багато практичних задач, але в ній недостатньо рішень, пов'язаних з теоретичним обґрунтуванням окремих спеціальних способів пиляння [2]. Дослідженням способів отримання радіальних пиломатеріалів і заготовок з колод у свій час займалось чимало науковців [5; 6]. Більшість з них відзначають розвальню-сегментну та секторну схеми розкрою як найбільш раціональні для отримання радіальних пиломатеріалів та заготовок [7; 8]. Інші у своїх працях пропонують технологічно більш складні та дорожчі способи отримання пилопродукції радіального виду розкрою [9].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Загальним недоліком відомих способів виготовлення радіальних пиломатеріалів є велика трудоемкість, невисока продуктивність та низький корисний вихід продукції радіального розпили [7-9]. Крім того, значною кількістю способів передбачається виготовлення радіальних заготовок невеликої ширини та пилопродукції із застосуванням технології склеювання [7-9]. Отже, на сьогодні не достатньо рішень з отримання чисто радіальних пиломатеріалів повної ширини та довжини.

Мета статті. Головною метою цієї роботи було розроблення пристрою для реалізації виробництва тільки радіальних пиломатеріалів з круглих лісоматеріалів на основі стрічкопиляльних верстатів. Для досягнення поставленої мети було використано методи експериментальних досліджень та аналітичні методи.

Виклад основного матеріалу. Для реалізації способу виробництва виключно радіальних пиломатеріалів нами запропоновано модель лінії на основі спарених стрічкопиляльних верстатів вертикального типу із програмним керуванням [10] та модель модернізації механізму подачі та позиціонування горизонтального стрічкопиляльного верстата [11]. Вибір такого устаткування обґрунтовано такими його перевагами [2]:

- невелика ширина пропили – від 2 мм до 3,2 мм;
- не вимагає попереднього підсортовування колод за діаметрами;
- регульована швидкість подачі залежно від висоти (ширини) пропили;
- найбільш високий відсоток корисного виходу продукції;
- можливість реалізації індивідуального способу розкрою.

В основу запропонованого рішення виробництва радіальних пиломатеріалів на основі спарених стрічкопиляльних верстатів вертикального типу [10] покладено завдання отримати більш високий корисний вихід продукції з більшою продуктивністю процесу пиляння. Поставлене завдання вирішується через вдосконалення механізму подачі лінії з можливістю повертання заготовок на будь-який кут стосовно стрічкопиляльних верстатів, що забезпечить випилювання пиломатеріалів і заготовок радіального виду розпили із сегментів або секторів колод.

На рис. 1 показана принципова модель стрічкопиляльної лінії для виробництва радіальних пиломатеріалів з деревини різних порід.

Стрічкопиляльна лінія має два стрічковопиляльних верстати 1, механізм подачі 2 у вигляді каретки зі зворотно-поступовим рухом матеріалу, який розпилюється, механізм повороту заготовок 3 щодо пильних вузлів верстатів, автоматизовану систему керування лінією.

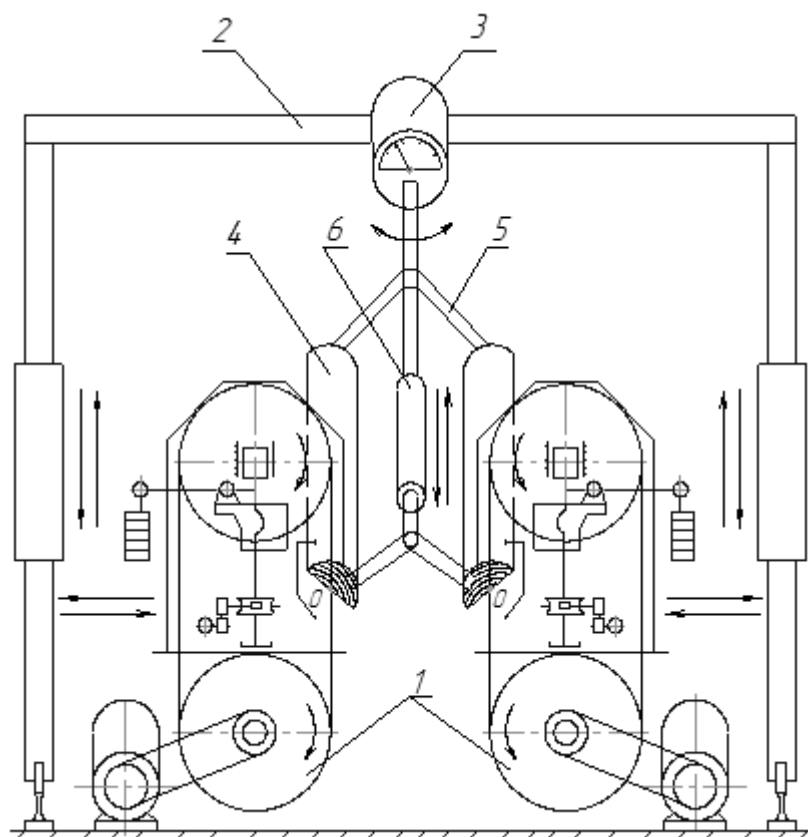


Рис. 1. Принципова модель запропонованої стрікопиляльної лінії для виробництва радіальних пиломатеріалів з деревини

Робота лінії здійснюється наступним чином. Сектор 4 або сегмент притискається з торців штангами 5 за допомогою гідроциліндра 6. Поворотним пристроєм 3 заготовка залежно від розміру радіальної дощечки повертається на відповідний кут. Після цього механізм подачі рухається в поздовжньому напрямку щодо одного зі стрікопиляльних верстатів і, таким чином, випилюється дощечка радіального виду розпилювання. Поворотним пристроєм 3 після першого пропилю заготовка повертається на відповідний кут до другого стрікопиляльного верстата. Механізм подачі рухається у зворотному напрямку й випилюється дощечка з іншої сторони сектора на другому стрікопиляльному верстаті. Надалі процес повторюється.

Автоматизованою системою керування відбувається синхронізація рухів стрікопиляльних верстатів 1 у поперечному напрямку, вертикального переміщення механізму подачі 2 і механізму повороту заготовки 3. Це відбувається для того, щоб стрікова пилка щораз проходила через центр сектора 0.

В основу запропонованого рішення виробництва радіальних пиломатеріалів на основі горизонтального стрікопиляльного верстата покладено завдання збільшити корисний вихід таких пиломатеріалів та зменшити трудомісткість процесу їх виготовлення. Поставлена задача вирішується таким способом: сектор однією із площин встановлюють на горизонтальну частину рольганга (рис. 2), з можливістю його повертання вниз (рис. 3), закріплюють за допомогою нерухомого та рухомого упорів, повертають рольганг на кут 45° і проводять розпилювання верхньої частини сектора до його середини (рис. 4), після чого рольганг повертають у вихідне положення, а частину сектора – на 180° та розпилюють (рис. 5).

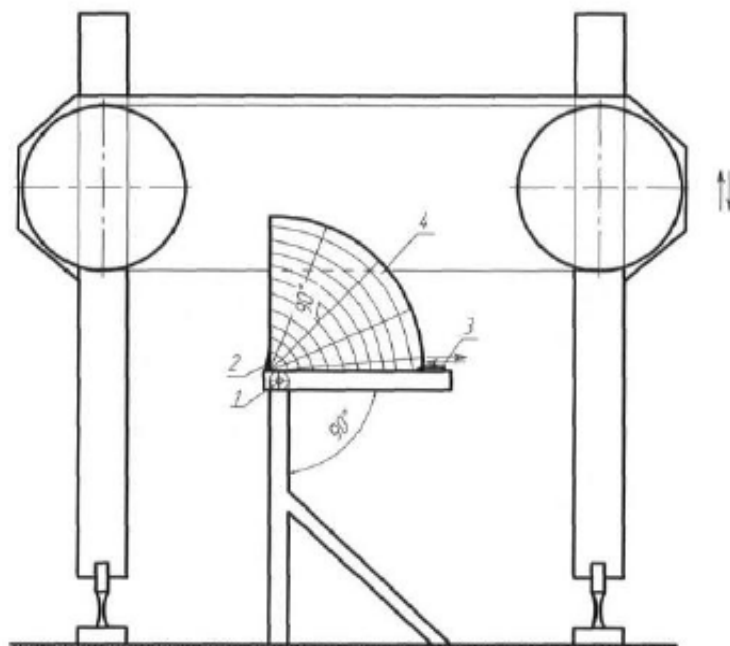


Рис. 2. Принципова схема розпилювання деревини у вигляді сектора

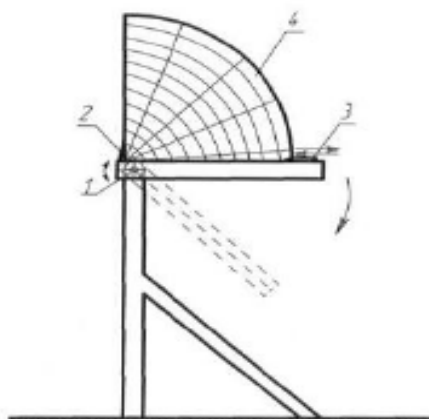


Рис. 3. Розміщення сектора однією із площин на горизонтальній частині рольганга

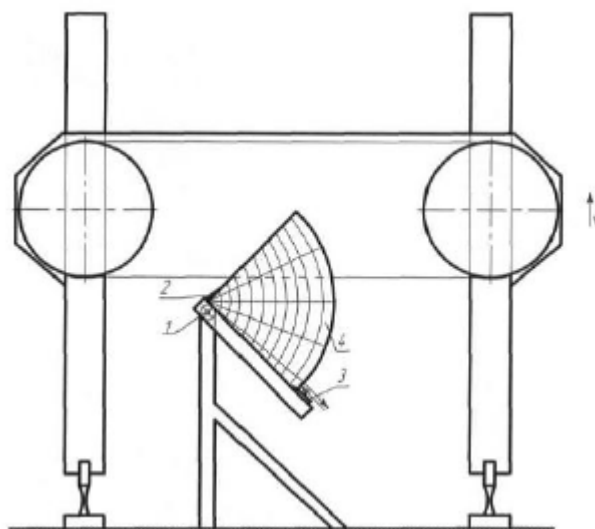


Рис. 4. Повертання рольганга вниз на кут 45° та розпилювання верхньої частини сектора до його середини

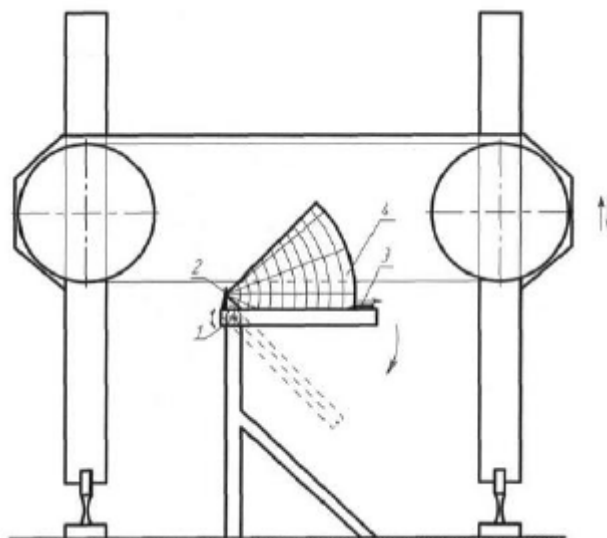


Рис. 5. Повертання рольганга у вихідне положення, а частини сектора на 180° та його розпилювання

Процес розпилювання заготовки із деревини у вигляді сектора проводять наступним чином. Сектор 4 однією із площин встановлюють на горизонтальну частину рольганга та закріплюють за допомогою нерухомого 2 та рухомого 3 упорів (рис. 3). Після цього рольганг повертають відносно осі 1 вниз на кут 45° та в зону різання підводять пиляльний супорт горизонтального стрічкопилкового верстата і здійснюють розпилювання сектора до його середини на радіальні пиломатеріали заданих розмірів за товщиною (рис. 4).

У подальшому рольганг повертають у вихідне положення, сектор 4 розкріплюють за допомогою рухомого упора 3 та повертають його на 180° і знову закріплюють, після чого остаточно розпилюють залишки сектора (рис. 5) і таким чином отримують 100 % радіальних пиломатеріалів.

Висновки і пропозиції. Випилювання радіальних пиломатеріалів з деревини різних порід на подібній до запропонованої лінії [10] дозволить збільшити продуктивність процесу у два рази за рахунок використання спарених верстатів, зменшити товщину пропилю в 2-2,5 рази завдяки меншій товщині стрічкових пилок та, відповідно, енерговитрати.

Спосіб [11] може бути використано для 100 % отримання радіальних пиломатеріалів на горизонтальних стрічкопиляльних верстатах та дає можливість знизити трудозатрати на 8...10 %.

За умов ретельного дотримання технології пиляння і досконалого освоєння устаткування альтернативи стрічкопиляльним верстатам у розрізі ресурсозбереження й енергоспоживання поки що немає. Тому, якщо й надалі відбуватиметься подорожчання силовини, стрічкова технологія пиляння буде користуватися все більшим попитом у малому й середньому бізнесі за рахунок сумарних економічних показників.

Список використаних джерел

1. Уласовец В. Г. Рациональный раскрой пиловочника / В. Г. Уласовец. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2003. – 278 с.
2. Пінчевська О. О. Теорія і практика лісопиляння / О. О. Пінчевська, Н. В. Марченко. – К. : Освіта України, 2012. – 217 с.
3. Технологія та обладнання виробництва пилопродукції / О. О. Пінчевська, В. С. Коваль, З. С. Сірко, Н. В. Марченко. – К. : Освіта України, 2013. – 648 с.
4. Вінтонів І. С. Деревинознавство : навчальний посібник / І. С. Вінтонів, І. М. Сопушинський, А. Тайшінгер. – 2-ге вид. – Львів : Апірі, 2007. – 312 с.
5. Батин Н. А. К составлению поставов на выпиловку радиальных пиломатериалов / Н. А. Батин, А. А. Янушкевич // Механическая технология древесины. – 1971. – Вып. 1. – С. 9-13.

6. *Межов И. С.* Исследование влияния основных факторов на выход радиальных пиломатериалов / И. С. Межов, Ф. Н. Карпунин, Л. К. Осипова // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 1996. – № 4. – С. 11-13.

7. *Межов И. С.* Основы повышения объемного и спецификационного выхода пиломатериалов и заготовок при раскрое бревен брусом-сегментным способом на специализированном оборудовании : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.21.05 / И. С. Межов. – СПб., 1994. – 33 с.

8. *Мчедlishvili С. Н.* Влияние ориентированного по сучкам распиливания резонансных бревен развально-сегментным способом на качество радиальных пиломатериалов / С. Н. Мчедlishvili // *Новое в технологии и материалах деревообраб. пром-сти*. – М. : МЛТИ, 1987. – Вип. 190. – С. 25-28.

9. *Патент № 2310555* Российская Федерация. Способ раскроя бревен на радиальные пиленые заготовки / Матухнов М. М. ; заявитель и патентообладатель Матухнов Михаил Михайлович. – № 2006110914/03 ; заявл. 04.04.2006 ; опубл. 20.11.2007, Бюл. № 32.

10. *Марченко Н. В.* Способ выпилки радиальных пиломатериалов из круглых сортиментов / Н. В. Марченко, З. С. Сірко // *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology*. – 2010. – № 71. – С.47-51.

11. *Патент* України на корисну модель № 82240. Спосіб отримання радіальних пиломатеріалів / Сірко З. С., Марченко Н. В., Головач В. М. ; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів та природокористування України. – № u 2013 01829 ; заявл. 14.02.2013 ; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.

УДК 519.876.5:664.848.022

І.І. Медведкова, канд. техн. наук

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк, Україна

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ

И. И. Медведкова, канд. техн. наук

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, г. Донецк, Украина

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ГРИБОВ

Inna Medvedkova, PhD in Technical Sciences

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhaylo Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine

SOME PECULIARITIES OF MATHEMATICAL MODELLING OF THE PROCESS OF DRYING OF CULTIVATED MUSHROOMS

Запропоновано розв'язок завдання розподілу температурних полів у шарі продукту у процесі його зберігання методами математичного моделювання на прикладі сушіння свіжих культивованих грибів. Проведено аналіз сучасного стану практики сушіння грибної продукції, дано оцінку методів математичного моделювання тепломасопереносу в щільному шарі, що дозволяє одержати повну картину розподілу потенціалів переносу в тілі або системі тіл, простежити зміну полів потенціалів у часі й на цій основі дати детальний аналіз кінетики й динаміки процесу сушіння культивованих грибів.

Ключові слова: математичне моделювання, сушіння, культивовані гриби, якість, зберігання.

Предложено решение задачи распределения температурных полей в слое продукта при его хранении методами математического моделирования на примере сушки свежих культивируемых грибов. Проведен анализ современного состояния практики сушки грибной продукции, дана оценка методов математического моделирования тепломасопереноса в плотном слое, что позволяет получить полную картину распределения потенциалов переноса в теле или системе тел, проследить изменение полей потенциалов во времени и на этой основе дать детальный анализ кинетики и динамики процесса сушки культивируемых грибов.

Ключевые слова: математическое моделирование, сушка, культивируемые грибы, качество, хранение.

This article offers solutions for the distribution of temperature fields in the layer of the product during storage methods on the example of mathematical modeling of drying of fresh cultivated mushrooms. Analyzes the current state of practice drying mushroom products, and the estimation methods of mathematical modeling of heat and mass transfer in a dense layer that provides a broad

picture of the distribution of potentials transfer in the body or system of bodies, to track changes in the field potentials in time and on this basis to give a detailed analysis of the kinetics and dynamics of process of drying of cultivated mushrooms.

Key words: mathematical modeling, drying, cultivated mushrooms, quality, storage.

Постановка проблеми. Одним з розповсюджених методів збереження й переробки сільськогосподарської сировини є сушіння. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробленні нових способів сушіння, що забезпечують високу якість готового продукту, створення умов для більш повної переробки зібраного врожаю, зменшення втрат, автоматизацію, механізацію й значну інтенсифікацію цього процесу, а також зниження питомих енерговитрат.

Рішення актуальних завдань у сфері техніки й технології сушіння безпосередньо пов'язують з наступними факторами: вивченням і поглибленням уяви про фізичну сутність і закономірність переносу енергії й речовини при різних методах сушіння; подальшим вивченням властивостей матеріалу, як об'єкта сушіння; застосуванням новітніх фізико-хімічних методів дослідження, обґрунтуванням методів управління механізмом переносу вологи всередині матеріалу у процесах сушіння; створенням науково обґрунтованої методики техніко-економічної оцінки сушильних установок.

Сушіння вологих матеріалів – це складний термо- і масодифузійний процес. Для складних багатокомпонентних систем, якою є сільськогосподарська сировина й зокрема – культивовані гриби, процес сушіння представляється у вигляді двох складових: теплофізичного й технологічного. Якщо теплофізичний процес сушіння визначає «чисте» переміщення тепла й вологи крізь товщу продукту, то технологічний являє собою сукупність процесів переміщення вологи й тепла, що супроводжуються хімічними, біохімічними й структурно-механічними змінами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасна теорія тепло- і масообміну розглядає внутрішній тепло- і масоперенос у вологих тілах як комплекс незворотних нестационарних термодинамічних явищ, органічно пов'язаних між собою, що впливають один на одного, та рушійних сил, які відбуваються під дією ряду термодинамічних факторів.

Швидкість і характер протікання цих процесів у підсумку визначають якість кінцевого готового продукту. Тому вибір способу сушіння, оптимального режиму й конструкції сушильного апарату повинні бути безпосередньо пов'язані з властивостями матеріалу, вимогами до кінцевого продукту, який повинен базуватися на наукових основах технології сушіння, до яких, безсумнівно, відноситься процес математичного моделювання.

В основу цієї теорії лягли роботи шкіл фізиків різних років (О. Онзагера, К. Денбига, С. де Гроота, І. Пригожина й ін.) [2], продовжені вченими країн СНД [5; 7].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Проблеми внутрішнього масопереносу в матеріалах при накладенні електромагнітних полів присвячено багато робіт.

Однак вони не охоплюють усіх завдань, що виникають при спробі одночасно охопити такі складні явища.

Низка питань, а саме: визначення коефіцієнтів переносу при накладенні електромагнітних полів, роль потоку вологи в загальному потоці переносу маси, швидкість релаксації потенційних полів у вологих матеріалах, аналітичний розв'язок нелінійних систем рівнянь тепло- і масообміну та ін. вимагають подальшого дослідження.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є проведення дослідження й аналіз методів математичного моделювання тепломасообмінних процесів, що супроводжують сушіння й зберігання культивованих грибів, заснованих на дослідженні явищ переносу з метою раціоналізації енергетичної ефективності й оптимального управління технологічними параметрами цих процесів.

Завдання дослідження, необхідні для досягнення поставленої мети полягають в аналізі сучасного стану практики сушіння грибної продукції; оцінюванні методів математичного моделювання тепломасопереносу у щільному шарі; розв'язок завдання розподілу

температурних полів у шарі продукту при його зберіганні методами математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу. Основою теорії сушіння є закономірності переносу тепла й вологи у вологих матеріалах за наявності фазових перетворень при взаємодії їх з нагрітими газами, гарячими поверхнями, а також у процесах накладення електромагнітних та іншої природи полів.

При сушінні вологих матеріалів різними методами мають місце нерозривно пов'язані, взаємообумовлені явища тепло- і масопереносу, які охоплюють як внутрішню частину вологого тіла, так і середовище, що омиває матеріал.

Сушіння являє собою складний технологічний тепло- і масообмінний процес, спрямований не тільки на збереження низки властивостей матеріалу, але (у багатьох випадках) і на їхнє поліпшення [1; 7]. Процес сушіння вологого матеріалу, найчастіше пов'язаний з витратою теплоти на фазове перетворення води і є найбільш енергоємним, трудомістким і вимагає більших витрат часу. У більшості випадків інтенсивність сушіння визначається швидкістю переміщення вологи з глибинних шарів матеріалу до поверхневих.

Дослідження показали, що цей процес, обумовлений структурою матеріалу, формами й енергією та іншими факторами ще важко керуються та недостатньо вивчений [3; 5; 7]. Тому при аналізі методів сушіння культивованих грибів досить важливим завданням є запропоновані даними методами засоби впливу на переміщення вологи усередині тіла ооміцетів.

Теорія незворотних процесів заснована на двох принципах: лінійності й взаємності.

Згідно з принципом лінійності потік P і сила F пов'язані між собою лінійною залежністю:

$$\begin{aligned} P_1 &= L_{11} \cdot F_1 + L_{12} \cdot F_2 + L_{13} \cdot F_3, \\ P_2 &= L_{21} \cdot F_1 + L_{22} \cdot F_2 + L_{23} \cdot F_3, \\ P_3 &= L_{31} \cdot F_1 + L_{32} \cdot F_2 + L_{33} \cdot F_3. \end{aligned} \quad (1)$$

Ця система лінійних рівнянь записана для процесу поширення потоків уздовж трьох напрямків – X , Y і Z . Тут кожен із напрямків отримує вплив з боку двох інших. Принцип взаємності полягає у рівності перехресних кінетичних коефіцієнтів.

Ці рівності свідчать про наявність симетрії у взаємному впливі потоків. Співвідношення взаємності виражають принцип мікроскопічного обертання. Ці співвідношення, як показав С. де Гроот [2], з успіхом можуть бути застосовані й до нестационарних явищ переносу невисокої інтенсивності.

Однак у випадку сильно інтенсивних нестационарних процесів принцип лінійності порушується. При цьому залежність між потоком P і термодинамічною силою F має нелінійний характер. Кількісна сторона взаємного впливу різних потоків може бути встановлена через диференціювання і тоді одержимо:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial P_1}{\partial F_2} \right)_{X_1} &= \left(\frac{\partial P_2}{\partial F_1} \right)_{X_2}, \\ \left(\frac{\partial P_1}{\partial F_3} \right)_{X_1} &= \left(\frac{\partial P_3}{\partial F_1} \right)_{X_3}, \\ \left(\frac{\partial P_2}{\partial F_3} \right)_{X_2} &= \left(\frac{\partial P_3}{\partial F_2} \right)_{X_3}. \end{aligned} \quad (2)$$

Аналіз представлених рівностей достатньо провести на одному з них.

Виходячи з першої рівності, видно, що збільшення потоку тепла, віднесеного до збільшення кінетичної сили, що обумовлює дифузію F_2 , дорівнює збільшенню потоку

речовини, віднесеного до збільшення сили F_1 , що обумовлює тепло- і масоперенос в одному із трьох напрямків. Теплоперенос за іншими двома напрямками знаходить пояснення з інших двох рівностей.

Термодинамічні рушійні сили відповідного переносу в термодинаміці незворотних процесів визначаються зі співвідношення:

$$T \frac{\partial S_v}{\partial t} = P \cdot F, \quad (3)$$

де T – абсолютна температура, К;

S_v – ентропія, Дж.

Згідно з основними положеннями термодинаміки незворотних процесів, закон внутрішнього масопереносу стосовно сушіння вологих матеріалів [6] може бути записаний так:

$$P_m = -D_m \cdot \rho_0 \cdot (\nabla u - \delta \cdot \nabla T), \quad (4)$$

де D_m – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

ρ_0 – щільність повітря при відповідній температурі, $\text{кг}/\text{м}^3$;

δ – термоградієнтний коефіцієнт, К^{-1} ;

∇u – градієнт вологості, $\%/ \text{м}$;

∇T – градієнт температури, $\text{К}/\text{м}$.

Із цієї формули видно, що температурний градієнт перешкоджає переміщенню води до поверхні тіла. Таким чином, виражений масоперенос характерний для конвективного методу підведення тепла, що найчастіше використовується у процесі сушіння культивованих грибів.

Дослідження [8] показали, що при застосуванні високоінтенсивних методів підведення тепла, як, наприклад, високочастотне нагрівання, значну роль відіграє градієнт тиску P . Висока швидкість підведення тепла при високочастотному нагріванні вологих матеріалів, як показали дослідження [6], викликає інтенсивне паротворення в продукті. Випаровування води відбувається у повному обсязі тіла, причому, у центрі тіла більше, ніж на поверхні, тому що температура центральних шарів вище температури поверхневих шарів [8]. Внаслідок цього виникає градієнт загального тиску, який є основною рушійною силою переносу пари усередині тіла.

Крім того, існує припущення, що в змінному електричному полі має місце також перенос води під дією електродифузії ($D_m^e \cdot \rho_0 \cdot \bar{E}$). Таким чином, $P_m = -D_m \cdot \rho_0 \cdot (\nabla u - \delta \cdot \nabla T) - K \cdot \nabla P - D_m^e \cdot \rho_0 \cdot \bar{E}$.

Ступінь впливу кожного із градієнтів, зазначених у рівнянні, визначається способом енергопідводу, його інтенсивністю, а також внутрішньою структурою матеріалу і його термічним станом.

Нині проведені глибокі дослідження вологісних і температурних полів при конвективному, кондуктивному та інфрачервоному засобах енергопідводу з метою виявлення можливостей для інтенсифікації процесу внутрішнього масопереносу за рахунок градієнтів ∇u і ∇T [3; 7].

При інтенсивному конвективному нагріванні в матеріалі також виникає надлишковий тиск, який, релаксуючись як до поверхні, так і до центру, створює негативний градієнт. Таким чином, у процесах конвективного, радіаційного й контактного сушіння єдиним позитивним градієнтом є градієнт вологовмісту ∇u . При малоінтенсивному високочастотному нагріванні вологих матеріалів градієнти ∇u , ∇T і ∇P сприяють переносу маси до поверхневих шарів матеріалу, що відрізняє цей вид нагрівання від інших.

При інтенсивному підведенні тепла вплив усіх градієнтів на масоперенос стає мізерно малим у порівнянні з масопереносом, обумовленим градієнтом тиску ∇P . У цьому ви-

падку рівняння переносу вологи в матеріалі має вигляд: $P_m = -K_p \cdot \nabla P$. На тепловий потік діють ці ж сили.

Перенос вологи у вологих матеріалах при їхньому сушінні залежить від фізичних і колоїдно-фізичних властивостей матеріалу й форм зв'язку вологи з кісткою тіла, від пористої структури тіла, а також умов сполучення матеріалу із зовнішнім середовищем. При цьому у вологому матеріалі перенос вологи може відбуватися у вигляді рідини й пари молярно-молекулярним шляхом [3; 7]. Поглинання й пересування вологи у вологих матеріалах значною мірою залежить від наявності в них капілярів різних розмірів. У процесі сорбції вологи з повітря при нормальному тиску заповнюються вологою тільки мікрокапіляри ($r < 10 \div 5$ мм).

Макрокапіляри ($r > 10 \div 5$ мм) здатні заповнюватися вологою тільки при безпосередньому зіткненні дисперсного тіла з рідиною й віддають вологу в атмосферу, насичену водяними парами. За наявності градієнта температури у вологому тілі спостерігається рух рідини у напрямку потоку тепла. Потенціалом плівкового переносу є градієнт розклинюючого тиску. Великий вплив на процес вологовіддачі вологих матеріалів при їхньому сушінні має циркуляція вологого повітря в макропорах. Останнє спостерігається за наявності градієнта температури.

При цьому відбувається термодифузійний розподіл вологого повітря (більш легкої водяної пари $\mu = 18$ і повітря $\mu = 28$ (μ – молекулярна маса)), що призводить до збагачення водяною парою нагрітих кінців капілярів і припливу більш сухого зовнішнього повітря до менш нагрітих кінців капілярів.

На основі законів збереження енергії й маси була отримана система диференціальних рівнянь переносу тепла й маси у вологих матеріалах за наявності фазових перетворень із урахуванням конвективного переносу тепла потоком пари й рідини в матеріалі при постійному тиску, яка має такий вигляд:

$$\begin{aligned} c \cdot \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_q + \varepsilon_{\text{фаз}} \cdot r \cdot \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} \\ \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_m, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\varepsilon_{\text{фаз}}$ – критерій фазового перетворення.

При сушінні струмами високої частоти (СВЧ) вологих матеріалів за рахунок накладення електромагнітного поля виникають внутрішні джерела тепла.

При цьому система рівнянь переносу тепла набуває вигляду [7]:

$$\begin{aligned} c \cdot \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_q + \varepsilon_{\text{фаз}} \cdot r \cdot \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + P_v \\ \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_m, \end{aligned} \quad (6)$$

де P_v – потужність джерела тепла в одиниці об'єму матеріалу, Вт/м³, яке визначається таким чином:

$$P_v = 0,555 \cdot f \cdot \varepsilon' \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot E^2 \cdot 10^{-6},$$

де f – частота, Гц;

ε' – відносна діелектрична проникність;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс кута діелектричних втрат;

E – напруженість електромагнітного поля, В/м.

Як видно, потужність джерела тепла в одиниці об'єму матеріалу прямо пропорційна відносній діелектричній проникності ε' , тангенсу кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$, частоті поля f і квадрату напруженості електричного поля E . Коефіцієнти переносу залежать як

від внутрішніх, так і від зовнішніх факторів системи. Тому розв'язок таких рівнянь роблять із припущенням, що коефіцієнти переносу постійні.

Теплофізичні коефіцієнти матеріалів визначаються експериментальним шляхом для кожного матеріалу окремо або для групи матеріалів [3]. Система диференціальних рівнянь представлена без обліку останнього члена рівняння:

$$\begin{aligned} c \cdot \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_q + \varepsilon_{\text{фаз}} \cdot r \cdot \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + P_v \\ \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_m, \end{aligned} \quad (7)$$

Цей член може бути до деякої міри врахований у загальному потоці, якщо визначити коефіцієнти тепло- і масопереносу при накладенні електричних полів [4].

Зневажа четвертим членом у системі рівнянь

$$\begin{aligned} c \cdot \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_q + \varepsilon_{\text{фаз}} \cdot r \cdot \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} + P_v \\ \rho_0 \frac{\partial u}{\partial \tau} &= -\operatorname{div} P_m, \end{aligned} \quad (8)$$

що враховує перенос маси термодинамічною силою E або використання в цій системі рівнянь коефіцієнтів тепло- і масопереносу, визначених без накладення електрополів високої частоти, призводить до занижених значень потенціалів переносу.

Висновки і пропозиції. Таким чином, система диференціальних рівнянь переносу разом з початковими й граничними умовами відображає в аналітичній формі основні риси досліджуваного процесу сушіння культивованих грибів, тобто є його математичною моделлю. Розв'язок моделі дозволяє одержати повну картину розподілу потенціалів переносу в тілі або системі тіл, простежити зміну полів потенціалів у часі й на цій основі дати детальний аналіз кінетики й динаміки процесу сушіння культивованих грибів, причому наближені методи напівемпіричного характеру не можуть замінити аналітичних методів дослідження.

Список використаних джерел

1. Гинзбург А. С. Технология сушки пищевых продуктов / А. С. Гинзбург. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 248 с.
2. Де Гроот. Неравновесная термодинамика / Де Гроот, П. Мазур. – М. : Мир, 2004. – 456 с.
3. Дущенко В. П. Влияние различных форм связи влаги, пористой структуры и температуры на коэффициент внутреннего переноса типичных дисперсных материалов / В. П. Дущенко, Х. Б. Байджанов, В. П. Василенко. – К. : Наукова думка, 1969. – 324 с.
4. Жмакин Н. П. Тепло- и массообмен при высокочастотном нагреве влажных тел / Н. П. Жмакин // Проблемы теплообмена : сб. – Минск, 1960. – 188 с.
5. Исследование переносы массы в капиллярно-пористом и капиллярно-пористоколлоидном материалах при наложении полей высокой частоты / О. А. Кремнев, В. Р. Боровский, В. Т. Мустьяца, В. А. Шелиманов, Л. М. Минаевский // Тепло- и массоперенос : сб. – 3-е издание. – К. : Наукова думка, 1998. – 210 с.
6. Лыков А. В. Применение метода термодинамики необратимых процессов к исследованию тепло- и массопереноса / А. В. Лыков – М. : Энергия, 1985.
7. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – 4-е издание. – М. : Энергия, 2008. – 470 с.
8. Рогов И. А. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов / И. А. Рогов, С. В. Некрутман. – М. : Агропромиздат, 1986. – 351 с.

УДК 620:65.422

Л.В. Молоканова, канд. техн. наук**Ю.О. Лукомський**, асистент

ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк, Україна

ЗМІНИ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ СІЧЕНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ПРИ ВАРІАЦІЇ СИРОВИННИХ КОМПОНЕНТІВ

Л.В. Молоканова, канд. техн. наук**Ю.А. Лукомский**, ассистент

ДонНУЭТ имени Михаила Туган-Барановского, г. Донецк, Украина

ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУБЛЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ПРИ ВАРИАЦИИ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ

Liliia Molokanova, PhD in Technical Sciences**Yurii Lukomskiy**, assistant

DonNUET named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine

CHOPPED SEMI-MEAT MINERAL COMPOSITION CHANGES IN RAW MATERIAL VARIATION

Наведено результати дослідження мінерального складу пасту з квасолі білої продовольчої. Проаналізовано зміни мінерального складу м'ясних січених напівфабрикатів при заміні у рецептурі хліба на квасолеву пасту. Враховано концепції збалансованих співвідношень мінеральних речовин у продуктах харчування. Виділено ключові фактори дії мінеральних компонентів на біологічну цінність продукту.

Ключові слова: паста з квасолі, мінеральний склад, січені напівфабрикати, співвідношення мінералів, рослинна сировина.

Приведены результаты исследования минерального состава пасты из фасоли белой продовольственной. Проанализированы изменения минерального состава мясных рубленых полуфабрикатов при замене в рецептуре хлеба на фасолевую пасту. Учтены концепции сбалансированных соотношений минеральных веществ в продуктах питания.

Ключевые слова: паста из фасоли, минеральный состав, рубленые полуфабрикаты, соотношение минералов, растительное сырье.

Paper presents the results of the white bean paste mineral composition study. Analyzed changes in the mineral composition of semi-meat products at replacement in bread recipe for bean paste. Considered the concept of balanced ratios of minerals in food.

Key words: bean paste, mineral composition, semi-meat products, mineral correlation, plant raw material.

Постановка проблеми. Незбалансованість раціону сучасної людини призводить до необхідності розроблення нових продуктів харчування. Оскільки основними проблемами, що постають перед сучасною наукою харчування, є недостатня кількість білка у продуктах, йде пошук високобілкової нетрадиційної сировини, у тому числі рослинного походження.

Однак поряд із вирішенням основних задач на кінцевий результат має вплив багато факторів другорядного порядку, у тому числі питання мінерального складу і його збалансованості, що досліджені не повною мірою. Оскільки в попередніх роботах було доведено можливість використання пасту з квасолі як замітника хліба в рецептурі м'ясних січених напівфабрикатів за основними характеристиками, визначення мінерального складу стає необхідним завданням комплексного товарознавчого оцінювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням хімічного складу бобових присвячено багато робіт. Ретельно досліджені властивості зерен квасолі і бобових у роботі Л.Ю. Авдєєвої [1]. Роботи А.В. Зюзько присвячено вивченню хімічного складу та фізико-хімічних показників бобових з метою розроблення технології формованих м'ясо-рослинних напівфабрикатів [4]. Інші статті розкривають питання змін у квасолі у процесі різних видів теплового та механічного оброблення [2]. Деяким недоліком наявних наукових робіт у контексті цього дослідження є відсутність інформації щодо складу обробленої квасолі у вигляді пасту.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Попередні публікації свідчать про можливість використання пасту з квасолі для виробництва м'ясних січених напівфабрикатів. Порівняно з хлібом, паста має більш збалансований амінокис-

лотний склад та вищу загальну кількість білка, структурно-механічні властивості відповідають виробничим вимогам. При цьому мінеральний склад пасти з квасолі не вивчений ретельно та є важливим з погляду загальної біологічної цінності.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є дослідження мінерального складу пасти з квасолі та порівняння з відповідними значеннями хліба, заміником якого виступає цей компонент.

Виклад основного матеріалу. Питання забезпечення людини продуктами харчування постає протягом всього історичного розвитку суспільства та є одним з найважливіших факторів його розвитку [4]. Продовольчі технології зробили суттєвий крок вперед у напрямку збільшення обсягів виробництва, перероблення та зберігання. Незважаючи на це, експоненціальне збільшення чисельності населення вимагає невинно продовжувати пошук оптимізації і розширення асортименту [7].

Важливим аспектом сучасної структури виробництва продуктів є те, що за кількісними параметрами вона перевищує потреби суспільства. При цьому якісні показники мають суттєвий дисбаланс. Насамперед відзначається нестача білків (особливо повноцінних за амінокислотним складом), кількість жиру та вуглеводів значно перевищує потреби [1]. Для продуктів харчування, що відносяться до категорії «фаст фуд» та швидкого приготування, характерною є висока енергетична цінність саме за рахунок небілкових компонентів [6]. Ситуація погіршується зменшенням енергетичних потреб пересічного споживача внаслідок гіподинамії. Традиційні продукти харчування не завжди дозволяють досягнути балансу між споживанням і використанням

Використання нетрадиційної сировини рослинного і тваринного походження може стати можливим вирішенням проблеми. З погляду утилітарності, білки тваринного походження найкраще підходять для задоволення потреб людини, однак володіють більшою собівартістю та є дефіцитною сировиною. Підвищення біологічної цінності продукції можливе за рахунок збагачення високобілковими рослинними компонентами. Бобові культури найбільш якісно відповідають цим вимогам. Вони містять високий вміст білків – до 36 %, які включають всі незамінні амінокислоти, незначну кількість вуглеводів і жирів [8]. Собівартість отримання 1 грама білка рослинного походження в 10-30 разів менше, ніж тваринного, при цьому вони характеризуються досить високою засвоюваністю [6]. Квасоля серед бобових досі не отримала широкого застосування в харчовій галузі і здебільшого використовується в цілому вигляді з додаванням соусів та інших овочів. Можливість її використання (особливо в м'ясних продуктах з комбінованим складом сировини) у вигляді пасти та вплив на хімічний склад досліджена недостатньо.

Оцінювання споживчих переваг і світових тенденцій дозволила виділити такі критерії оптимізації продуктів, що розробляються:

- Високобілковий продукт зі значною часткою м'ясної сировини. Обов'язковою є наявність повного комплексу незамінних амінокислот, а також висока біологічна доступність сировини.

- Помірна енергетична цінність. В Україні кожен другий має надлишкову вагу, а 20 % населення страждає на ожиріння [6]. В економічно розвинених країнах ці показники вище, так, у США ожиріння є проблемою для більш ніж третини населення.

- Можливість швидкого приготування. Характерною рисою сучасного суспільства виступає високий темп життя, який не дозволяє приділяти значний час приготуванню їжі, при цьому часто віддається перевага харчуванню вдома.

Поставлене завдання було вирішене створенням січених напівфабрикатів із м'яса кролів із додаванням квасолевої пасти. Як прототип використовувалися котлети «Московські» за традиційною рецептурою [3]. Попередні дослідження довели ефективність

розроблених котлет у порівнянні з базовою рецептурою за амінокислотним складом, загальною кількістю білків та енергетичною цінністю [2]. При цьому зміни мінерального складу не досліджувалися, а аналіз літературних джерел дозволив зробити висновок про недостатність інформаційної забезпеченості досліджуваного фактора.

Для проведення аналізу було відібрано зразки пасти з квасолі та готових напівфабрикатів. Зразки досліджено на вміст 5 макроелементів та 5 мікроелементів за методами, наведеними у табл. 1.

Таблиця 1

Досліджувані мінеральні речовини і методи їх оцінювання

Назва мінеральної речовини	Метод дослідження
Натрій, Калій	Полум'яна фотометрія
Кальцій, Магній, Залізо, Цинк, Мідь	Атомно-абсорбційна спектроскопія
Фосфор	Спектрофотометрія
Йод	Колориметрія

Вибір мінеральних речовин продиктовано їх біологічним значенням та розповсюдженістю. Мінеральні речовини відіграють значну роль у функціонуванні організму людини, а їх ефективність залежить від концентрації та співвідношень. Внаслідок незбалансованості харчування виникають диспропорції, що негативно впливають на здоров'я. Деякі мінерали стають дефіцитними, а деякі – навпаки, перевищують рекомендовані норми. До останніх належить натрій, який здебільшого потрапляє в їжу з сіллю. Антагоніст натрію – калій дозволяє відновити баланс водного обміну. Нестача калію на фоні високої кількості натрію є причиною появи судом і серцево-судинних захворювань.

Такі мінерали, як магній, фосфор та кальцій знаходяться у близькій взаємодії. Магній займає значне місце в обміні фосфору та сприяє зниженню тиску крові, на його засвоєння значно впливає кількість кальцію. Засвоєваність кальцію, у свою чергу, значно залежить від кількості фосфору. Дефіцит кальцію може спровокувати розвиток гіпертонічних кризів, збільшенню кількості холестерину в крові.

Мікроелементи, що обрані для дослідження, також відіграють важливу роль у функціонуванні організму. Мідь, цинк та залізо створюють між собою синергетичний ефект. Йод необхідний для нормального функціонування щитовидної залози та є істотним дефіцитним об'єктом у структурі харчування. Марганець бере участь у всіх видах обміну речовин, активує діяльність більшості ферментів. Особливе значення марганець має в реалізації функції полових залоз, нервової системи та опорно-рухомого апарату.

У табл. 2 представлені результати дослідження мінерального складу пасти з квасолі, хліба пшеничного формового вищого ґатунку, січених напівфабрикатів «Московські» та «Кролячі дієтичні». Дані щодо пасти з квасолі та хліба наведені для зручного порівняння переваг і недоліків цих інгредієнтів.

Таблиця 2

Результати аналізу мінерального складу компонентів

Компонент	Макроелементи, мг					Мікроелементи, мкг				
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe	I	Zn	Cu	Mn
Паста з квасолі білої продовольчої	21	501	74	57	230	3048	5,5	1459	264	610
Хліб пшеничний формовий вищого ґатунку*	506	129	23	33	84	901	0	526	80	450
Котлети «Кролячі дієтичні»	491	307	32	26	152	3092	4,0	1573	129	140
Котлети «Московські»**	600	199	17	19	114	1689	3,5	1617	106	116

Примітка: *за літературними даними [7].

На рис. представлено візуальне порівняння мінерального складу базової рецептури та котлет «Кролячі дієтичні». Показник базової рецептури був прийнятий за 100. Як видно з рис., розроблені напівфабрикати за більшістю досліджуваних мікроелементів перевищують базові показники.

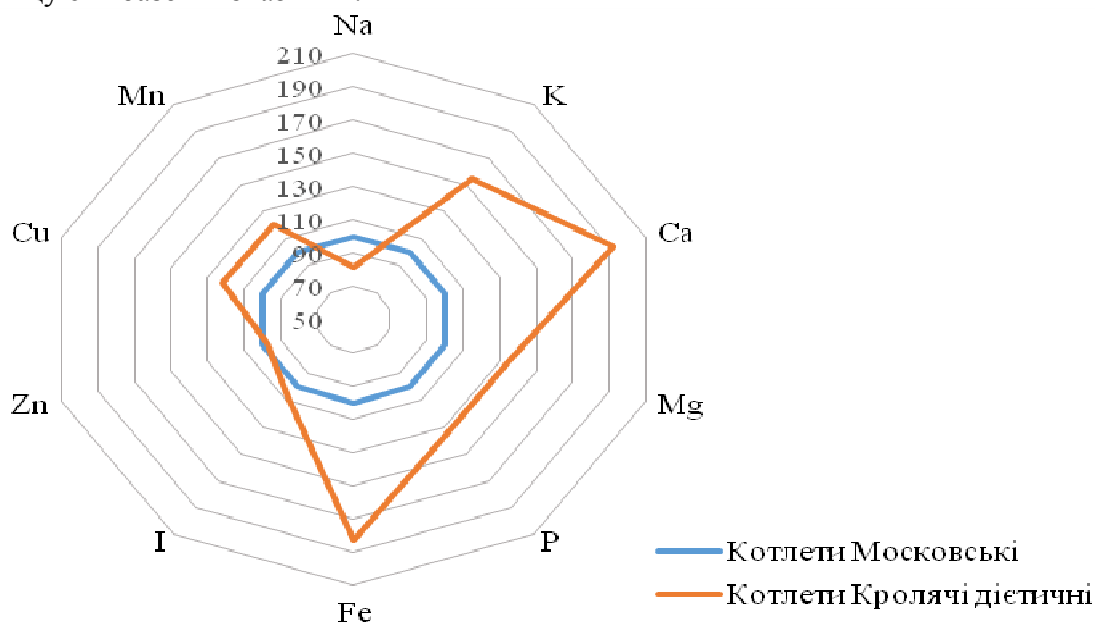


Рис. Співвідношення мінерального складу базової і розробленої рецептури, %

Дані табл. 2 і рис. дозволяють провести аналіз змін ключових співвідношень макро- і мікроелементів. Так, оптимальним з погляду засвоєння кальцію і фосфору є відношення у пропорції 1:1,6 відповідно. Однак для січених напівфабрикатів цей показник отримати досить проблематично, оскільки м'ясна сировина багата на фосфор, а кальцій представлений здебільшого у кістковій тканині. Базова рецептура має досліджуваний показник на рівні 1:6,7, розроблені напівфабрикати котлети «Кролячі дієтичні» – 1:4,75.

Іншим важливим показником є баланс між кальцієм і магнієм, який встановлено на рівні 1:0,7 відповідно. За цим критерієм також спостерігається зміна у сторону оптимальності (1:1,12 для базової рецептури і 0,81 для розробленої). Оскільки під час виробництва паст з квасолі не додається харчова сіль, загальна кількість натрію зменшена на 18,3 %, що є позитивною зміною в сучасних умовах харчування населення. Іншим важливим співвідношенням мінерального складу є сума кальцію і натрію до суми калію і магнію. Розроблені напівфабрикати також мають більш наближене до оптимального відношення.

Вміст більшості компонентів (лише кількість цинку знизилася на 2,7 %) підвищився дуже суттєво. Так, кількість заліза збільшилася на 83 %, кальцію – 93 %, калію на – 55 %. Високий вміст білків покращує засвоєння кальцію, а покращення балансу між фосфором і магнієм суттєво підвищує цей показник.

Висновки і пропозиції. Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що за мінеральним складом паста з квасолі значно перевищує хліб, який традиційно використовується у процесі виготовлення січених напівфабрикатів.

Січені напівфабрикати котлети «Кролячі дієтичні», які вироблені із заміною в рецептурі пшеничного хліба пастою з квасолі, мають більш збалансований мінеральний склад при значному збагаченні основними макро- і мікроелементами. Важливим також є більш наближені до оптимальних, порівняно з базовою рецептурою, співвідношення макроелементів, що дозволяє зробити висновок про доцільність застосування нетрадиційної для (для м'ясної промисловості) квасолевої пасту як рецептурного інгредієнта і заміника пшеничного хліба.

Список використаних джерел

1. Авдеева Л. Ю. Вдосконалення технології комбінованих м'ясних продуктів з використанням рослинних білків : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Авдеева Леся Юріївна ; Український держ. ун-т харчових технологій. – К., 2003. – 234 с.
2. Баля Л. В. Удосконалення якості консервів із квасолі у плодоовочевому соусі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Баля Лілія Вікторівна ; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2013. – 19 с.
3. Здобнов А. И. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий: для предприятий общественного питания / А. Здобнов, В. Цыганенко. – К. : ООО «Издательство Арий», 2009. – С. 277.
4. Зюзько А. В. Разработка технологии получения формованных мясо-растительных полуфабрикатов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 / Зюзько Алла Валентиновна ; Одесская гос. академия пищевых технологий. – Одесса, 1999. – 214 с.
5. Молоканова Л. В. М'ясні січені напівфабрикати із використанням пасти з бобових культур / Л. В. Молоканова, Ю. О. Лукомський // Товарознавчий вісник: Збірник наукових праць ЛНТУ. – Луцьк : ЛНТУ. – 2011. – Вип. 4. – С. 77-85.
6. Рогов И. А. Химия пищи. Принципы формирования качества мясopодуКТов / И. А. Рогов, А. И. Жаринов, М. Л. Воякин. – СПб. : РАПП, 2008. – 340 с.
7. Соя: химический состав и использование / под ред. В. М. Лукомца. – Майкоп : ОАО "Полиграф-ЮГ", 2012. – 432 с.
8. Химический состав пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина, М. Н. Волгарева. – 2-е изд. – М. : Агропромиздат, 1987. – Кн. 1. – С. 32-34.
9. Химический состав пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина, М. Н. Волгарева. – 2-е изд. – М. : Агропромиздат, 1987. – Кн. 2. – С. 32-34.

УДК 685.341.85:675.017.85

В.А. Отрошко, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

Н.В. Мережко, д-р техн. наук

Київський національний торгово-економічний університет, м. Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ

В.А. Отрошко, аспірант

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

Н.В. Мережко, д-р техн. наук

Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ ДЕТСКОЙ ОБУВИ

Valentyna Otroshko, PhD student

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

Nina Merezhko, PhD in Technical Sciences

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

IMPROVING OF CHILDREN'S FOOTWEAR SHAPE STABILITY

Охарактеризовано формостійкість взуття як визначальну якісну характеристику. Проведено аналітичний огляд наукової літератури з цього питання. Висвітлено основні фактори, що впливають на рівень формостійкості. Встановлено, що забезпечення формостійкості дитячого взуття має значення з метою попередження негативного впливу неякісного взуття на здоров'я дитини. Запропоновано шляхи вирішення питання.

Ключові слова: дитяче взуття, якість взуття, натуральна шкіра, формостійкість, природні мінерали.

Охарактеризована формоустойчивость обуви как определяющая качественная характеристика. Осуществлен аналитический обзор научной литературы по этому вопросу. Освещены основные факторы, которые влияют на уровень формоустойчивости. Установлено, что обеспечение формоустойчивости детской обуви имеет значение для предупреждения отрицательного влияния некачественной обуви на здоровье ребенка. Предложены пути решения вопроса.

Ключевые слова: детская обувь, качество обуви, натуральная кожа, формоустойчивость, природные минералы.

In this article, the form stability shoe characterized as a defining characteristic of quality. An analytical review of the scientific literature on the subject was done. Highlighted the main factors that affect the level of shape stability. Found that

providing shape stability in the children's shoes is important to prevent the negative impact of low-quality shoes for the children's health. The ways of solving this problem was suggested.

Key words: children's footwear, quality of footwear, genuine leather, shape stability, natural minerals.

Постановка проблеми. Питання забезпечення високої якості товарів завжди було провідним у товаровзнавстві. Споживач має право на високу якість та безпечність товарів, які використовує щодня. Взуття є предметом першої необхідності та користується постійним попитом серед споживачів всіх вікових категорій.

Вітчизняний ринок взуття характеризується різноманітністю асортименту, залежно від використаних матеріалів (як синтетичних, так і натуральних), фасонів (відповідно до виду взуття, його призначення) та виробників (вітчизняних, закордонних).

На сьогодні споживачі схильні надавати перевагу взуттю з натуральної шкіри, що пояснюється високими експлуатаційними, естетичними, гігієнічними властивостями та показниками надійності такого взуття. Для споживача дуже важливо, щоб взуття не втрачало привабливого зовнішнього вигляду та зберігало свою форму під час носіння.

Однією з важливих характеристик взуття, що впливає на якість, є його формостійкість. Формостійкість – це властивість виробу зберігати надану йому форму в процесі зберігання та експлуатації [1].

На жаль, у процесі експлуатації взуття зазнає постійного впливу в системах «взуття–людина» та «взуття–навколишнє середовище». Деформація взуття (зокрема верху взуття) не тільки впливає на зовнішній вигляд, а й загалом веде до прискорення його руйнування. Саме тому показник формостійкості відноситься до групи споживних властивостей, що характеризують надійність взуття [2].

У випадку якості дитячого взуття питання формостійкості стоїть особливо гостро. Як відомо, здоров'я кожної людини формується з дитинства під впливом багатьох факторів, на які людина має чи не має вплив. Серед таких факторів є якість взуття, що носить дитина. Взуття дитині батьки обирають самостійно, тому, за умов наявності на ринку якісного взуття, можливо уникнути негативного впливу на здоров'я дитини.

Таким чином, виробники взуття, а особливо вітчизняні виробники, повинні бути зацікавленими в підвищенні формостійкості дитячого взуття, а отже, наукова робота направлена на пошук нових шляхів вирішення цього питання, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. Літературний аналіз джерел показав, що пошуку способів підвищення формостійкості взуття присвятили свої дослідження такі науковці: М.П. Купріянов, А.Г. Бурмістров, Х.Х. Лікумович, А.І. Комісаров, М.А. Файбищенко, В.П. Коновал, Ю.П. Зибин, В.М. Цветков, В.М. Катрич, А.М. Каліта, Б.Я. Краснов, К.М. Зубарян та інші. Слід наголосити, що в зазначених роботах більшою мірою автори звертали увагу на питання, пов'язані з формостійкістю взуття для дорослих, а от конкретизація на дитячому взутті має місце лише в окремих роботах, що, у свою чергу, ще раз підтверджує актуальність дослідження формостійкості саме дитячого взуття [3; 4].

Метою дослідження є підвищення формостійкості дитячого взуття. Для вирішення цієї проблеми обґрунтовано доцільність використання природних мінералів на стадії додублення–наповнення натуральної шкіри як перспективного та актуального шляху вирішення.

Виклад основного матеріалу. Взуття повинно вільно облягати стопу людини з усіх сторін, фіксуючи її форму та забезпечуючи зручність. Взуття не повинно здавлювати м'які тканини стопи з розміщеними в них кровоносними, лімфатичними судинами та нервами, не викликати ніяких больових відчуттів ні в стані спокою, ні під час руху, та не обмежувати рух у суглобах.

Особливе значення має форма дитячого взуття, яка повинна відповідати формі стопи дитини та не порушувати її природного розвитку. Незакінчене окостеніння дитячої стопи зобов'язує особливо серйозно відноситись до конструкції дитячого взуття. До 5-7-річного віку закладаються основи кістки стопи. Хрящ, утворюючий скелет стопи, дуже

піддатливий, швидко реагує на різноманітні несприятливі впливи, наприклад, стискання або викривлення (у випадку вузького, тісного взуття). Носіння дітьми взуття, що не відповідає розмірам та формі стопи, призводить до патологічних змін у самій структурі кісткової тканини. Зайва або недостатня рухливість стопи у взутті, що є результатом носіння занадто просторого або затісного взуття, не забезпечує стійкого положення стопи та в багатьох випадках викликає натирання або деформацію стопи [5].

Зростаюча стопа дитини, як відомо, відрізняється від стопи дорослої людини, що обумовлено її анатомо-фізіологічними особливостями. Дитяче взуття повинно мати відповідну для вікової групи конструкцію, форму, гігієнічні властивості, щоб не завдавати шкоди дитячій ніжці та створювати умови для її нормального розвитку. Такі невідповідності в конструкції дитячого взуття, як: відсутність у взутті м'якої амортизуючої прокладки по сліду, нераціонально спроектована устілкова або бокова поверхні копила, використання взуття підвищеної жорсткості (або, навпаки, взуття з м'яким задником), збільшення висоти підбора – можуть призвести до появи захворювань всіх органів та систем тіла людини. Як наслідок отримуємо, що серед школярів кількість здорових дітей скорочується в 4-5 раз та до 70 % збільшується відсоток хронічних захворювань, деякі діти мають одночасно 2-3 патології. Найчастіше серед школярів спостерігаються порушення функцій опорно-рухового апарату, запалення верхніх дихальних шляхів, зниження артеріального тиску тощо [6].

З об'єктивних причин дитяче взуття значно частіше, ніж взуття для дорослих, піддається інтенсивному механічному впливу (особливо в носковій частині), адже діти ведуть більш рухливий спосіб життя. Це призводить до різноманітних пошкоджень матеріалу верху, що у свою чергу впливає на його формостійкість. Таким чином, погіршується зовнішній вигляд виробу, його естетичні властивості, в деяких випадках цілісність швів, кріплень, а найголовніше, що ті чи інші зміни у формі взуття (утворення складок верху взуття, збільшення повноти, зміщення верху взуття на зовнішню або внутрішню сторону) впливають безпосередньо на нормальний розвиток стопи дитини.

Формостійкість взуття залежить від багатьох факторів, серед яких такі: властивості системи матеріалів, що використовуються у процесі виготовлення взуття; особливості технологічного процесу виробництва взуття (особливо стадії зволоження, сушіння та формування); відповідність форми, розмірів стопи та взуття. Отже, шляхом цілеспрямованого впливу на той чи інший фактор можна підвищити формостійкість взуття.

Розрізняють статичну та динамічну формостійкість, тобто формостійкість безпосередньо після зняття з заготовки пари взуття та під час експлуатації відповідно. Значно більший інтерес становить динамічна формостійкість взуття.

Враховуючи усі фактори впливу на формостійкість, нами було обрано роботу з матеріалами, як більш доступнішу в реалізації та менш досліджену. Іншими словами, наша мета – це покращення властивостей матеріалів верху взуття, а саме натуральної шкіри, що використовується під час виробництва дитячого взуття.

У процесі носіння взуття зношується. До основних факторів зношення взуття відносяться багаторазовий згин та багатоосне розтягнення. До непередбачуваних факторів відносяться удари об тверді матеріали, підтяжки, здирання лицьового шару шкіри тощо. Різноманіття вимог до взуття залежить від призначення та умов його експлуатації.

Під час формування матеріал верху зазнає еластичної, коли при знятті навантаження матеріал повністю відновлює форму та розміри, та пластичної деформації, за якої після зняття навантаження матеріал повністю або частково утримує набуту форму. Здатність шкіри до формоутворення та формозбереження залежить від її здатності до розтягування та співвідношення в ній еластичної та пластичної деформації. На формостійкість виробу впливають деформаційні властивості системи і кінетика процесу деформації. Чим більша

і триваліша деформація матеріалу, тим краща формостійкість виробу з нього, тому що внутрішні напруження, що виникли під час деформації, релаксують, а матеріал, що має високу залишкову деформацію, при повторних напруженнях вже менш здатний до неї. На залишкову деформацію системи матеріалів впливають також волого-теплові дії.

Загалом, формостійкість взуття визначають такі характеристики матеріалів, як: міцність шкіри, її пружність, вологообмінні властивості шкіри, температура зварювання, розривні характеристики при одноосному розтягненні, механічні властивості шкіри при їх продавлюванні кулькою тощо. Покращення вищезазначених показників натуральної шкіри – один з перспективних шляхів підвищення формостійкості взуття [7].

Збільшення споживчого попиту на якість взуття і висока конкуренція ставлять завдання пошуку і застосування нових матеріалів, ресурсозберігаючих технологій, методів покращення експлуатаційних та естетичних властивостей продукції. Розширення спектра натуральних шкір, вироблених за допомогою нових технологій, створює деякі перспективи для виготовлення взуття з поліпшеними функціональними властивостями.

Перспективним напрямком у шкіряній промисловості є використання технологічно ефективних екологічно чистих матеріалів на основі природних мінералів. Необмежена кількість в Україні високодисперсних глинистих мінералів, дешевизна та простота їх застосування гарантує найбільш перспективний напрям вирішення технологічних проблем через розроблення екобезпечних вітчизняних матеріалів комплексної дії на мінеральній основі з високою ефективністю використання. Це дасть можливість розробити технологічні режими їх практичного застосування для модернізації вітчизняних технологій, покращити якість продукції та розширити сировинну базу матеріалів з широким спектром властивостей для формування об'ємної структури шкіри [8].

Є багато інформації в літературі про використання природних мінералів як іонітів, сорбентів, каталізаторів для вирішення екологічних проблем, очищення стічних вод. Це пов'язано з їх необмеженою кількістю, низькою вартістю, широким спектром структурних, сорбційних властивостей і простотою використання. Набагато менше інформації про використання природних мінералів у шкіряній промисловості як матеріалів, що можуть вплинути на ефективність властивостей готової шкіри.

У деяких роботах представлена інформація про сучасні методи використання корисних копалин для виробництва шкіри. Вони свідчать про можливість створення структури високопродуктивної дерми з передбачуваними експлуатаційними та гігієнічними параметрами завдяки комплексному вибору технологічно ефективних матеріалів на основі мінералів. В інших роботах представлені нові екологічно чисті шкіряні матеріали і сучасні передові технології повторного дублення процесів виробництва шкіри, які забезпечують необхідні експлуатаційні властивості готової шкіри відповідно до її призначення. Застосовувані мінерали природного походження здатні пристосовуватися і регулювати ефективність утворення структури дерми та відповідні експлуатаційні властивості.

На сьогодні актуальним є використання природних мінералів, як екологічно чистих та технологічно ефективних матеріалів, що здатні корегувати і регулювати ефективність формування структури дерми і властивості готової шкіри. Використання дрібнодисперсних мінералів сприяє вирівнюванню топографічних ділянок по товщині, підвищує вихід шкір по площі за рахунок уникнення склеювання структурних елементів дерми. Зміни в мікроструктурі дерми, в результаті мінерального наповнення, сприяють поліпшенню експлуатаційних та гігієнічних властивостей готової шкіри.

Встановлено, що найважливішими властивостями шкіри є деформаційні властивості, тому що вони значною мірою визначають якість основних технологічних операцій взуття, яка в свою чергу визначає зручність продукту та збереження ним форми під час експлуатації.

Величина і характер деформації верху взуття залежить не тільки від способу формування, обладнання та приладів, що використовуються, а й від фізичних і механічних

властивостей матеріалів. Відсутність інформації про релаксаційні і деформаційні властивості шкіри виробленої за новими технологіями не дозволяють прогнозувати їх здатність утворювати форму і зберігати її – вказує на актуальність таких досліджень.

У наукових роботах О.Р. Мокроусової наведено результати досліджень релаксаційних та деформаційних характеристик натуральної шкіри для верху взуття, наповненої природними мінералами монтморилоніту і цеоліту. Особливості деформації шкір з мінеральним наповненням, здатність приймати форму і зберігати її оцінювали через визначення одноциклових характеристик при прикладанні до зразків повного випробувального циклу «навантаження–розвантаження–відпочинок». Кореляції пружної і пластичної деформації були встановлені, кінетика змін до лінійних характеристик зразків після зняття навантаження була досліджена. Отримані результати показали, що введення дисперсій мінералу до структури дерми сприяє міцності напівфабрикату шкіри, підвищення однорідності механічних властивостей у поздовжньому і поперечному напрямках і підвищення індексу стабільності форми [9].

Таким чином, враховуючи наявні наукові розробки з використання модифікованих мінералів на етапі подублення–наповнення натуральної шкіри з метою покращення їх властивостей, доцільно проводити наукову роботу з використання отриманої шкіри у виробництві дитячого взуття. Крім покращення деформаційних властивостей шкіри (що як наслідок підвищує формостійкість готового виробу), поліпшуються й гігієнічні властивості, що дуже важливо для дитячого взуття. Після виробництва взуття необхідно провести його товарознавче оцінювання, що дозволить оцінити соціально-економічну ефективність впроваджених заходів.

Висновки. Таким чином, важливою якісною характеристикою взуття є його формостійкість. Проблема забезпечення якості та формостійкості дитячого взуття є актуальною та потребує ефективних шляхів вирішення. Ймовірність негативного впливу взуття на нормальний розвиток дитячої стопи можна попередити завдяки підвищенню формостійкості взуття. Перспективним вирішенням проблеми підвищення формостійкості є використання природних мінералів у процесах подублення–наповнення натуральної шкіри.

Список використаних джерел

1. Рибальченко В. В. Формостійкість систем матеріалів у пакеті для матеріалів верху взуття / В. В. Рибальченко, Е. П. Дрегуляс, Н. Д. Креденець // Легка промисловість. – 2009. – № 1. – С. 46.
2. Лев М. В. Основы управления качеством на обувном предприятии / М. В. Лев. – М. : Легкая индустрия, 1973.
3. Катрич В. М. Про деякі особливості забезпечення формостійкості дитячого взуття / В. М. Катрич // Вісник ХНУ. – 2005. – Том II. – Ч.1. – № 5. – С. 84-86.
4. Калита А. Н. Исследование деформаций верха обуви при изгибе с целью повышения его износостойкости и формоустойчивости : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Калита – М., 1966.
5. Лиокумович В. Х. Структурный анализ качества обуви / В. Х. Лиокумович. – М. : Легкая индустрия, 1980.
6. Омельченко Н. М. Взуття та здоров'я людини / Н. М. Омельченко, В. П. Кернеш, В. П. Коновал // Легка промисловість. – 2009. – № 2. – С. 38-39.
7. Натуральні і штучні матеріали для взуття : навчальний посібник для студентів навчальних закладів / В. П. Коновал, В. В. Рибальченко, М. Є. Хомяк, Г. І. Шевченко. – К. : КНУТД, 2005. – 218 с.
8. Мокроусова О. Р. Наукові основи формування структури шкіри модифікованими високодисперсними мінералами в після дубильних процесах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.18 / Мокроусова Олена Романівна ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К., 2012. – 41 с.
9. Kozar O., Mokrousova O., Woznyak B. Deformation characteristics of leather for shoe upper, filled with natural minerals [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.davidpublishing.com/davidpublishing/Upfile/1/6/2014/2014010671532729.pdf>.

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: ndchbm@mail.ru. 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 аркуша.

**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 обгрунтована 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) зазначаються 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:

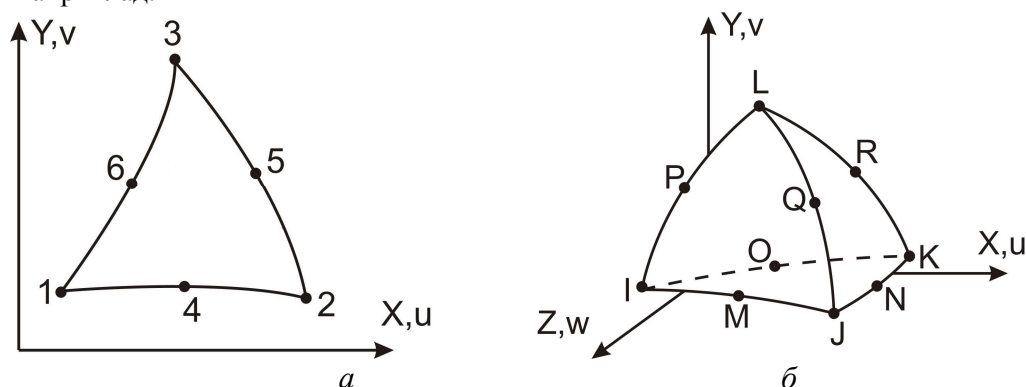


Рис. 3. Види скінченних елементів:

а – 6-вузловий плоский скінченний елемент і б – 10-вузловий об’ємний скінченний елемент

6.2. Таблиці

Цифровий матеріал, що наводиться у статті, як правило, 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_k , м/с	$V_{дет} = V_k/60$	t , мм	$Q_{гр}$, мм ² /с	a_z , мкм	$a_{z\max}$	$n/n_{різ}$
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 $(a_z)_{\max}$:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (1)$$

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

а₂. 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: ndchbm@mail.ru.

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. Прокопец, 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 Budionnyi, 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 невеликій 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 кожен 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 авторів.

Додаток В

Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки	Дт	1002	Ідентифікаційний код	
	Кт	31258201206996		05460798
	Одержувач платежу <u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>			
	Дата здійснення операції _____			
	Дата валютування _____			
				Код установи банку
				853592
	Найменування установи банку <u>ГУДК. Укр. в Чернігівській області</u>			
	Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____			
	Адреса платника _____			
Касир	Призначення платежу _____		за видання у збірнику	
			25010200	
				Сума
	Загальна сума _____			
	(словами)			
	Підпис платника _____			
Квитанція	Дт	1002	Ідентифікаційний код	
	Кт	31258201206996		05460798
	Одержувач платежу <u>ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ</u>			
	Дата здійснення операції _____			
	Дата валютування _____			
				Код установи банку
				853592
	Найменування установи банку <u>ГУДК. Укр. в Чернігівській області</u>			
	Прізвище, ім'я, по-батькові платника _____			
	Адреса платника _____			
Касир	Призначення платежу _____		за видання у збірнику	
			25010200	
				Сума
	Загальна сума _____			
	(словами)			
	Підпис платника _____			

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 4 (69)

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 11.04.2014. Формат 60х84/8. Друк різнографія.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 28,2.
Тираж 300 пр. Замовлення № 217/14.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського державного 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 № 840 від 04.03.2002 р.