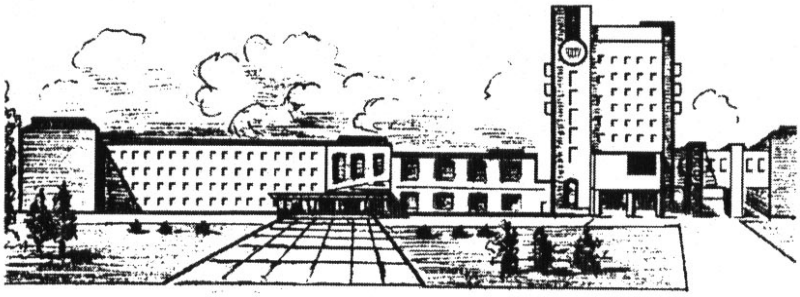
ISSN 2225-7551

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



В І С Н И К

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 1 (63)

Чернігів 2013

УДК 62/69+004
ББК 30/35
В53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 2 від 25.03.2013 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 збір-
В53 ник / Черніг. держ. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. – № 1 (63). – 255 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.
Рецензенти:
Бриков М.М., доктор технічних наук;
Демченко А.М., доктор фармацевтичних наук, професор;
Дятлов В.В., доктор технічних наук, професор;
Здановський В.Г., доктор технічних наук, професор;
Іванова І.М., доктор технічних наук, професор;
Кувшинов О.В., доктор технічних наук, професор;
Лисиченко М.Л., доктор технічних наук, професор;
Михальський В.М., доктор технічних наук, провідний науковий співробітник;
Петрина Ю.Д., доктор технічних наук, професор;
Позняков В.Д., доктор технічних наук;
Рижов Р.М., доктор технічних наук, професор;
Сахно Є.Ю., доктор технічних наук, професор;
Шаповалов В.І., доктор технічних наук, професор;
Щербак Л.М., доктор технічних наук, професор.

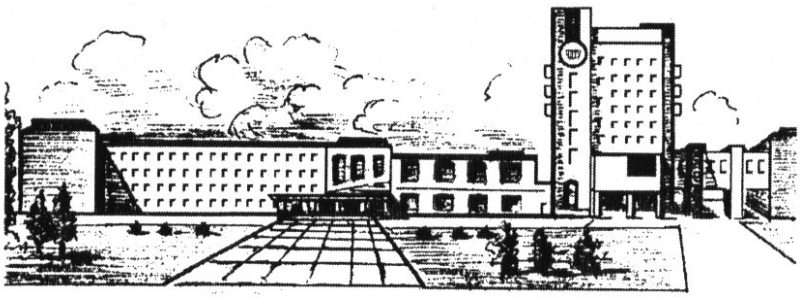
Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 14994-3966 ПР від 27.02.2009 р.

ISSN2225-7551

© Колектив авторів, 2013
© Чернігівський державний технологічний університет, 2013

ISSN 2225-7551

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE



VISNYK

CHERNIHIV STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

SECTION "TECHNICAL SCIENCES"

SET OF SCIENTIFIC WORKS

ISSUE № 1 (63)

Chernihiv 2013

UDK 62/69+004
BBK 30/35
V53

Published by the decision of the Academic Board of the University (protocol № 2 from 25.03.2013) «Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series " Engineering science"» is included in the new list of academic editions of Ukraine, approved by the Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of Ukraine :01.07.2010 № 1-05/5. Bulletin of VAK of Ukraine № 7, 2010.

Since 2013, "Visnyk of Chernihiv State Technological University". Series "Engineering science " was included in the international scientometric database eLIBRARY.RU (license agreement number 246-04\2013 on April 29, 2013)

Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Engineering science": scientific
V53 collection /Chernihiv State Technological University – Chernihiv: Chernihiv State Technological University – № 1 (63). – 255 p.

This issue of Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Engineering science" 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 "Engineering science" 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, PhD in Sciences, Professor.
Deputy Editor in - chief:
Pylypenko O. I. - PhD in Sciences, Professor.
Members of the Editorial Board:
Bolotov G.P. - PhD in Sciences, professor;
Volkov I.V. - PhD in Sciences, professor;
Denisov Y.A. - PhD in Sciences, professor;
Dubenets V.G.- PhD in Sciences, professor;
Dudla I.A. - PhD in Sciences, associate professor;
Kalchenko V. I - PhD in Sciences, professor;
Kalchenko V. V. - PhD in Sciences, professor;
Litvinov V.V. - PhD in Sciences, professor;
Senko V. I. - PhD in Sciences, professor;
Siza O. I. - PhD in Sciences, professor;
Skorobohatova V. I. - PhD in Sciences, professor;
Kharchenko G.K. - PhD in Sciences, professor;
Cherednichenko P.I. - PhD in Sciences, professor.
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.
Reviewers
Brykov M.N. - PhD in Sciences;
Demchenko A.M. - Doctor of Pharmacy, professor;
Dyatlov V.V.- PhD in Sciences, professor;
Zdanovskyy V.G PhD in Sciences, professor;
Ivanova I. M. PhD in Sciences, professor;
Kuvshinov O. V.- PhD in Sciences, professor;
Lysychenko M.L.- PhD in Sciences, professor;
Mihalskyy V.M.- PhD in Sciences, professor, senior Research Fellow;
Petrina Y. D. - PhD in Sciences, professor;
Poznyakov V. D. - PhD in Sciences;
Ryzhov R. M. - PhD in Sciences, professor;
Sahno E. Y. - PhD in Sciences, professor;
Shapovalov V. I.- PhD in Sciences, professor;
Sherbak L. M. - PhD in Sciences, professor.

Founded in 1996. Certificate of State repistration KV
№ 14994 – 3966 PR from 27.02.2009

ISSN 2225 - 7551

© Composite author, 2013
© Chernihiv state Technological University, 2013

ЗМІСТ

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

Зубков В.Е. Обоснование параметров устройства для резки клубней картофеля перед посадкой 9

Пилипенко О.І., Полуян А.В. Вирішення інженерних задач під час 3D проектування зірочок ланцюгової передачі 14

Горбатко О.О., Савченко О.В. Оптимізація багатошарових елементів конструкцій із композиційних матеріалів з різною структурою армуючих шарів 20

Трейтяк В.В., Ратушний П.М., Борисов О.О. Метод синтезу проектних варіантів концептуального проектування вузлів літака 28

Олененко М.Г., Величко И.Г. Решение задачи о стационарном распределении тепла в многослойной анизотропной пластине 33

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

Королев А.А. Химическая активность азотсодержащих соединений в реакции с кислородом оксиранового кольца 38

Бондарь Е. С. Противокоррозионные свойства NORFLOXACIN и ETAMSYLATE 42

Квашук Ю.В. Исследование эффекта «последействия» ингибиторов коррозии на основе растительного сырья для защиты оборудования пищевых производств 48

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

Рудик А.В., Рудик В.А. Шліфування впалих поверхонь обертання конічною поверхнею абразивного інструменту 54

Федориненко Д.Ю. Адаптивне керування точністю положення шпинделя на гідростатичних опорах 59

Сапон С.П. Методика експериментального визначення точності обертання шпинделя 66

Шуляр І.О. Технологічні шляхи підвищення якості армованої зони виливків бурового інструменту 74

РОЗДІЛ ІV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

Болотов Г.П. Аналіз процесу нагріву тліючим розрядом в умовах зварювання як об’єкта керування 82

Маркашова Л.И., Алексеенко Т.А., Жданов С.Л., Ганеева Т.В. Влияние внешнего статического нагружения на изменение параметров структуры металла участка перегрева ЗТВ сварных соединений высокопрочных сталей 87

Пентегов И.В., Рымар С.В., Сидорец В.Н., Петриенко О.И. Расплавление покрытого сварочного электрода при дуговой сварке сталей с короткими замыканиями 93

Березін Л.Я. Критерії якості зварювання в електричному полі високої напруги 103

Болотов М.Г. Дослідження локальних властивостей плазми тліючого розряду з порожнистим катодом стосовно до умов зварювального нагріву 112

Олексієнко С.В., Савченко О.М., Ющенко С.М. Флюсове видалення оксидних плівок при паянні алюмінію та сплавів на його основі (літературний огляд) 119

Рыбаков А.А., Костин В.А., Филипчук Т.Н., Прибытько И.А. Особенности формирования микроструктуры металла швов газонефтепроводных труб при дуговой сварке микролегированных сталей 125

Половецкий Е.В., Капитанчук Л.М., Новомлинец О.А. Влияние толщины промежуточной прослойки на структуру и свойства сварных соединений сплава алюминия АМГ6 со сплавом титана ВТ6 способом диффузионной сварки в вакууме 131

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Васильева И.И. Надежность телевизоров и ее прогнозирование 139

Зацерковний В.І., Бурачек В.Г., Казимир В.В., Скітер І.С. Розроблення моделі управління розвитком територій за допомогою ГІС 148

Риндич Є.В. Сервісно-орієнтована архітектура інформаційних систем у сфері надання транспортних послуг 155

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

Заровський Р.В. Синтез регулятора для систем із широтно-імпульсною модуляцією під час врахування постійної складової вихідної напруги перетворювача 161

Іванець С.А., Красножон О.В. Розвиток електроенергетики на основі концепції "інтелектуальних" електричних мереж SMART GRID 167

Приступа А. Л. Результати експериментальних досліджень безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів за допомогою теслівських процесів 178

Рогоза О.В., Ковтун А.О., Шоломій Ю.Є. Температурні залежності питомої провідності і рухливості носіїв заряду в холестеричному рідкому кристалі 184

Тимчук С.А., Мирошник А.А. Математическая модель потерь мощности в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ в нечеткой форме 188

Леміш С.В., Гусев О.О., Ревко А.С. Завадостійка система передачі даних для силового перетворювача 192

Радич Ю.В., Шилович Т. Б. Обладнання для спалювання низькокалорійного палива у вигляді пилу 199

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Корнієнко І.В., Корнієнко С.П. Алгоритм оцінювання електромагнітного забруднення територій 205

Міщенко М.В. Автоматизована система поливу 210

Таірова Т.М. Імовірнісний метод прогнозування виробничого травматизму 215

Сидоренко І.І. Аналіз підходів щодо формування ефективного економіко-екологічного землекористування 219

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Ракша-Слюсарева О.А., Пікула Л.Ф., Круль В.О., Володченко І.І. Дослідження мінерального складу харчового продукту «Ріпакового» для спеціального дієтичного споживання 227

Денисенко Т.М. Органолептична оцінка та дослідження фізико-хімічних показників якості мандаринів, що реалізуються в торговельній мережі м. Чернігова 232

Оносова І.А., Кудінова О.В. Інспектування та реєстрація домішок у зерні пшениці в контексті вимог СОТ 236

Хребтань О.Б. Особливості пофарбування пальтових вовняних тканин зі спеціальними обробками кислотними металокомплексними барвниками 240

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО "ВІСНИКА ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ. СЕРІЯ "ТЕХНІЧНІ НАУКИ" 246

CONTENTS

SECTION I. MECHANICS

V.E. Zubkov, Substantiation of the potato tubers cutting device characteristic before planting 9

O.I. Pilipenko, A.V. Poluyan, Solving engineering problems when designing 3D stars chain transfer.....14

O.O. Horbatko, O.V. Savchenko, Optimization of multi-layered structures of composite materials with different reinforcement structure 20

V.V. Treityak, P.N. Ratushny, O.O. Borisov, Algorithm design options conceptual design of airplanes.....28

M.G. Olenenko, I.G. Velichko, Solution of a problem of the stationary distribution of heat in anisotropic multilayer plates 33

SECTION II. MECHANOCHEMISTRY

A.A. Korolyov, Chemical activity of the nitrogenated connections in reaction with oxygen of oxirane ring 38

E.S. Bondar, Anticorrosion properties of NORFLOXACIN and ETAMSYLATE 42

Yu.V. Kvashuk, Research of «after-effect» of corrosion inhibitors based on vegetable raw materials for food production equipment protection 48

SECTION III. INTEGRATED TECHNOLOGIES MACHINEBUILDING AND MOTOR TRANSPORT

A.V. Rudik, V.A. Rudik, Grinding the hollow surfaces of rotation by conical surface of abrasive tools 54

D.Y. Fedorinenko, Adaptive control of spindle accuracy condition is on hydrostatical supports.....59

S.P. Sapon, Method of experimental determination the precision of spindle rotation 66

I.O. Shuliar, Technological ways of increasing quality of reinforced zone in of the cast of drilling tool.....74

SECTION IV. WELDING TECHNOLOGY

G.P. Bolotov, The analysis of the process of heating glow discharge as control object in welding conditions 82

L.I. Markashova, T.A. Alekseenko, S.L. Zhdanov, T.V. Ganeeva, Influence of the external static loading on the change of parameters of metal structure of the site overheating of the haz of welded joints of high-strength steels 87

I.V. Pentegov, S.V. Rymar, V.N. Sidorets, O.I. Petrienko, Melting-down of the coated welding electrode at the arc welding of steels with short circuits.....93

L.Ya. Berezin. Welding quality criteria in electric field high voltage 103

Bolotov M.G. Local properties of plasma of glow discharge with hollow cathode conditions with regard to welding heating are researches. 112

S.V. Oleksiyenko, O.M. Savchenko, S.M. Yushchenko, Flux removal of oxide film in brazing of aluminium and alloys (literary review).....112

A.O. Rybakov, V.A. Kostin, T.M. Philipchuk, I.O. Prybytko, Features of microstructure of weld metal gas and oil pipes during arc welding of micro-alloyed steel 117

E.V. Polovetskij, L.M. Kapitanchuk, O.A. Novomlinets, Impact thickness of the layer on the structure and properties of welded joints alloy aluminum AMG6 titanium alloy BT6 process diffusion welding in vacuum.....124

SECTION V. INFORMATION COMPUTER TECHNOLOGIES

I.I. Vasilieva, Safety of television sets and its forecasting activity 132

V.I. Zatcercovny, V.G. Burachek, I.S. Skiter, The developing of the model of management areas using GIS 141

Y.V. Ryndych, Research information systems service-oriented architecture of enterprises providing transport services 148

SECTION VI. POWER ENGINEER

R.V. Zarovskyi, Design of regulator for systems with pulse-width modulation, taking into account the dc component of the output voltage of the converter. 154

S.A. Ivanets, A.V. Krasnozhon, The development of power industry on the basis of "SMART GRID" conception of "SMART" electrical nets 160

A.L. Prystupa, Results of experimental researches of contactless battery charging implantable electrical appliances using tesla processes 171

O.V. Rohoza, A.O. Kovtun, Y.E. Sholomii, Temperature dependencies of specific conductivity and charge carrier mobility in cholesteric liquid crystal 177

S.A. Tymchuk, A.A. Miroshnyk, Mathematical model of the power losses in the power transformer 10/0, 4 kV fuzzy form 181

S.V. Lemish, O.O. Husev, A.S. Revco, Noise-immune data transmission systems for power converter 185

Y.V. Radych, T.B. Shylovych, Equipment for burning low-calorie fuel in the form of dust 192

SECTION VII. TECHNOLOGY CONSERVATION ENVIRONMENT

I.V. Korniyenko, S.P. Korniyenko, Evaluation algorithm of electromagnetic pollution of territories 205

M.V. Mishchenko, Automated irrigation system 210

T.N. Tairova, Probabilistic method prognostication of productive traumatism 215

I.I. Sydorenko, Analysis of approaches to the formation of an effective economic and environmental land use 219

SECTION VIII. TECHNOLOGIES LIGHT AND FOOD INDUSTRY

E.A. Raksha-Slyusareva, L.F. Pikula, V.A. Krul, I.I. Volodchenko, Investigation of mineral content of foodstuff "Ripakowiy" for special dietary consumption 227

T.N. Denisenco, Organoleptic evaluation and research physico-chemical parameters quality tangerines, sold in the trade network city Chernihiv 232

I.A. Onosova, O.V. Kudinova, Use of inspection methods and register of impurities in wheat grain in the context of WTO 236

O.B. Khrebtan, Specialties of coloring with acid metal-complex colorants of woolen coat fabrics with special finishings 240

РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА

УДК 663.532:621.928.1

В.Е. Зубков, д-р техн. наук
Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Луганск, Украина

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕЗКИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПЕРЕД ПОСАДКОЙ

Обоснованы параметры устройства для резки клубней картофеля перед посадкой, проведены его производственные испытания и изготовлена опытная партия.

Ключевые слова: *параметры, клубни картофеля, устройство для резки клубней картофеля.*

Обґрунтовано параметри пристрою для розрізання бульб картоплі перед посадкою, проведено його виробничі випробування і виготовлено дослідну партію.

Ключові слова: *параметри, бульби картоплі, пристрій для розрізання бульб картоплі.*

The potato tubers cutting device characteristic before planting are substantiated, its in-process testing is carried out, and the pilot batch is produced.

Key words: *characteristic, potato tubers, potato tubers cutting device.*

Постановка проблемы. На современном этапе развития картофелеводства целесообразным приемом, позволяющим более рационально распорядиться продуктивными качествами крупных семенных клубней, повысить коэффициент использования почек и уменьшить при этом расход посадочного материала, является резка клубней на части [1].

Большинство исследований характеризует резку клубней как выгодный агроприем, позволяющий не только экономить посадочный материал, но и дающий возможность увеличить массу клубней и их товарность.

Вместе с тем необходимость решения вопроса обеспеченности хозяйств посадочным материалом картофеля настоятельно диктуется все возрастающей посадочной нормой, потребностью использования крупных семенных клубней и быстрого размножения ценных сортов, желанием сократить объем перевозок семенных клубней из северных районов страны в южные и юго-восточные, а также удешевить стоимость семян. Поэтому проблема выращивания картофеля из резанных клубней остается актуальной как для сельскохозяйственной науки, так и для практики в особенности [1].

По вопросу передачи инфекции при резке клубней ножами имеются различные суждения.

Для борьбы с инфекцией исследователи предлагают различные обеззараживающие химические средства. Многие исследователи пришли к выводу о необходимости дезинфекции ножа при резке клубней.

Одной из причин, тормозящих широкий переход на использование для семенных целей резаных клубней картофеля, является трудоемкость процесса их резки [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ технологий и технических средств для подготовки к посадке резаных клубней картофеля позволяет сделать следующие выводы:

1. Промышленностью не выпускаются машины для резки клубней картофеля перед посадкой.
2. Изготавливаемые в хозяйствах единичные экземпляры машин для резки клубней картофеля перед посадкой не отвечают агротехническим требованиям из-за отсутствия приспособления для дезинфекции ножей и обработки клубней физиологически активными веществами.
3. Сельскохозяйственной наукой доказана возможность выращивания картофеля из клубней, разрезанных на 2, 3, 4 и более частей. Однако с увеличением степени измельчения посадочного материала усложняется конструкция машины для резки клубней, а так-

же требуется создание технологической линии для получения опробковевших кусочков семенных клубней, обеспечения необходимой температуры, влажности и газового состава воздуха в камерах предварительного опробковения, создание условий хранения и при необходимости проращивания опробковевших кусочков.

Целью данной работы является обоснование параметров устройства для резки клубней картофеля различных размеров и формы на две примерно равные части без предварительного сортирования по размерам. В зависимости от необходимости устройство может оборудоваться приспособлением для обработки клубней дезинфицирующими и физиологически активными веществами. При разработке устройства мы стремились к тому, чтобы оно было простым по конструкции, надежным в работе, не требующим высокой квалификации обслуживающего персонала, а также изготавливалось из узлов и деталей, имеющихся в каждом хозяйстве.

Изложение основного материала. В наибольшей степени таким требованиями отвечает устройство, схема которого приведена на рис. 1 [2; 3].

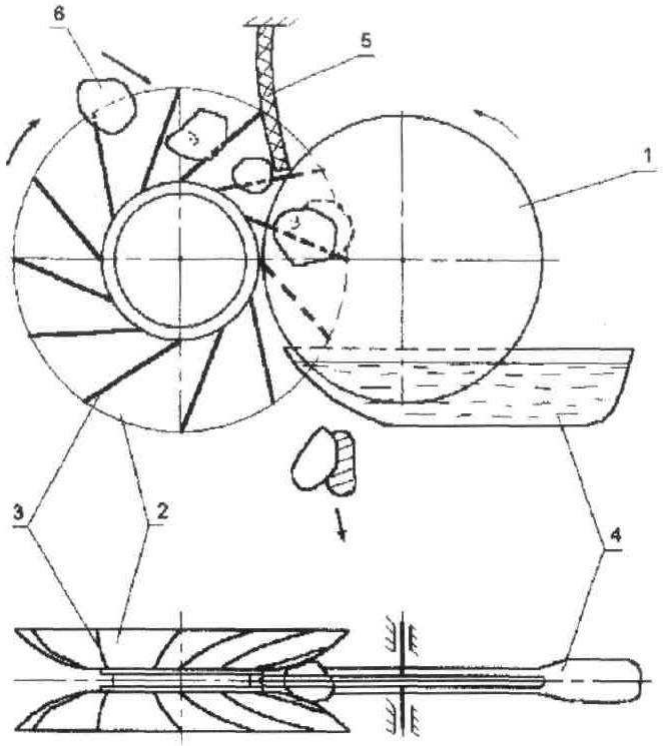


Рис. 1. Технологическая схема секции клубнерезки с дисковым ножом:
1 – дисковый нож; 2 – сферический диск клубнеориентирующего желоба; 3 – пруток;
4 – ванна с дезинфицирующим раствором; 5 – гибко-упругий прижим; 6 – клубни

Рабочая секция устройства состоит из пары вращающихся сферических (конических) клубнеориентирующих дисков, установленных выпуклостью друг к другу (диски в данном случае заимствованы от лущильника). Для предотвращения проскальзывания клубней относительно поверхности дисков на них прикреплены прутки.

На восходящей части желоба установлен подающий лоток.

Клубни картофеля поступают в клубнеориентирующий желоб между дисками, захватываются прутками и подаются к ножу. Благодаря клиновой форме желоба, происходит ориентация максимальным сечением вдоль желоба и центрирование клубней относительно ножа. Для фиксации клубней в процессе резания в верхней части желоба установлен гибко-упругий прижим. Ножи клубнерезки могут быть двух типов. В первом варианте нож черенковый, жестко закреплен на раме (в качестве ножа можно использовать одностороннюю выпрямленную лапу культиватора). При использовании этого

ножа, обработку резанных клубней химическими растворами можно выполнять как на машине, так и вне ее с помощью различного типа опрыскивателей. Во втором варианте предполагается использовать дисковый нож, дезинфекцию которого можно вести в специальной ванне, установленной на раме машины, что обеспечивает экономию дорогих химических реактивов.

Параметры клинового желоба секции клубнерезки образуются в результате расстановки пары сферических дисков одного относительно другого. В качестве исходных параметров расстановки дисков взяты граничные геометрические размеры клубней картофеля от 30 до 100 мм, которые могут разрезаться перед посадкой.

Для определения параметров расстановки прутков по поверхности диска воспользуемся следующей схемой (рис. 2).

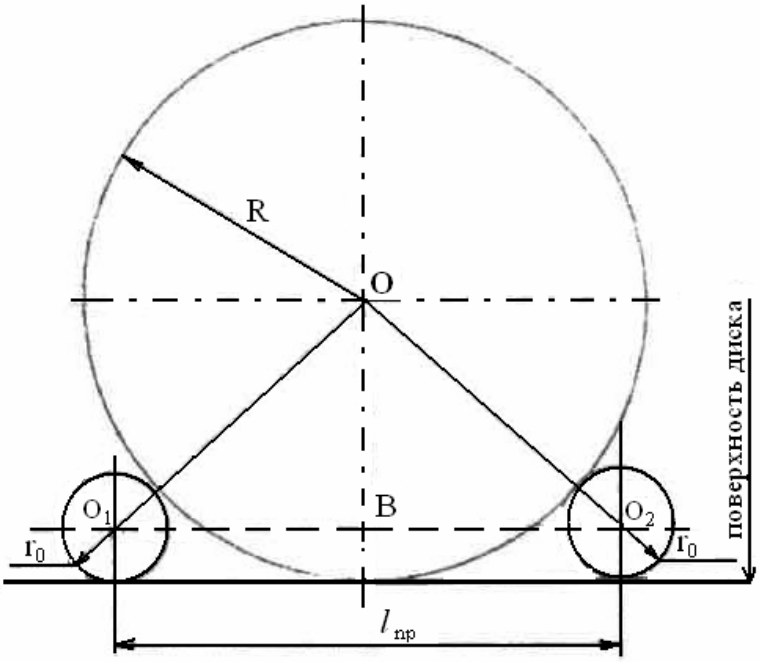


Рис. 2. Схема определения расстановки прутков по поверхности диска желоба секции клубнерезки: R – радиус клубня; r_0 – радиус прутка

В связи с близостью размещения прутков поверхность диска примем плоской. Расстояние между центрами прутков определится путем решения прямоугольного треугольника O_1OB:

$$l_{np} = O_1O_2 = 2O_1B = 2\sqrt{\left(R + r_0\right)^2 - \left(R - r_0\right)^2}. \quad (1)$$

Как следует из схемы (рис. 2), клубень контактирует с поверхностью диска и парой смежных прутков, что создает достаточно устойчивое положение его в процессе разделения на части. Так приняв диаметр прутков равным 6 мм, получим для клубней со средним диаметром 100 мм расстояние между центрами прутков $l_{np} = 69$ *мм,* а для клубней со средним диаметром 30 мм – $l_{np} = 38$ *мм.*

В связи с ограниченностью агротехнических сроков посадки клубней картофеля подготовка семенного материала должна вестись достаточно быстро. Поэтому производительность клубнерезки должна быть высокой, на наш взгляд, не менее 15 т/час, т. е. такой, чтобы она вписывалась в технологическую схему картофелесортировального пункта КСП – 15 В.

Рабочий орган клубнерезки – это барабан, собранный на валу из 9 пар дисков. В центре каждой пары дисков установлен нож. Ширина клубнеориентирующего барабана

ограничивается шириной подающего транспортера пункта КСП – 15 В и ее можно принять равной 800 мм.

Производительность клубнерезки при ее постоянной ширине будет зависеть от допустимой скорости вращения клубнеориентирующего барабана. Определить значение этой скорости можно с помощью схемы (рис. 3), составив уравнение равновесия клубня, находящегося в клубнеориентирующем желобе в радиальном направлении. При этом скорости клубня и дисков желоба принимаются равными:

$$\sum F_x = 0; \quad \sum F_y = 0; \quad \sum M_0 = 0.$$

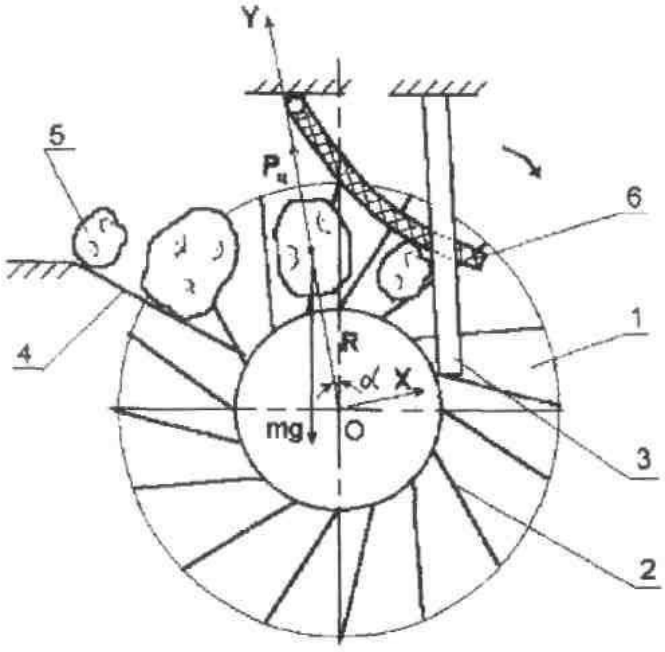


Рис. 3. Расчетная схема секции барабана клубнерезки:
1 – клубнеориентирующие диски; 2 – пруток; 3 – нож; 4 – лоток; 5 – клубень; 6 – гибко-упругий прижим

Решив уравнение $\sum F_y = 0$ относительно $P_ц$, получим:

$$P_ц = mg \cdot \cos\alpha \tag{2}$$

где $P_ц = m \cdot \omega^2 R$,

α – угол поворота барабана; g – ускорение свободного падения; $P_ц$ – центробежная сила; m – масса клубня; ω – угловая скорость клубня, равная угловой скорости диска; R – радиус от центра вращения диска до центра тела.

Подставив эти значения в формулу (2), после преобразований получим число оборотов барабана клубнерезки:

$$n = \frac{30}{\pi} \cdot \left[\frac{g \cdot \cos\alpha}{R} \right]^{0,5}. \tag{3}$$

Задаваясь значениями $\alpha = 30^\circ$, $R = 0,2$ *м*, получим допустимое число оборотов клубнеориентирующего барабана равным $n = 62$ *об / мин.*

Приведенные выше расчетные значения параметров устройства были использованы при проектировании машины для резки клубней картофеля перед посадкой. Конструкторский проект технической документации выполнен на предприятии „Опыт”. По вы-

полненной конструкторской документации был изготовлен опытный образец машины для резки клубней картофеля перед посадкой.

Лабораторные исследования и испытания машины проведены в Луганском национальном аграрном университете, а затем в хозяйствах Станично-Луганского района Луганской области. После успешных лабораторных и хозяйственных испытаний предприятие „Опыт" объявило в печати о мелкосерийном производстве этой машины на своей производственной базе по заявкам хозяйств.

За сравнительно короткий период было изготовлено и реализовано хозяйствам 22 клубнерезки и 5 комплектов технической документации для организации производства клубнерезки на тех предприятиях, которые ее приобрели.

Конструкция машины для резки клубней перед посадкой проста и может быть изготовлена в мастерских хозяйств. Схема машины приведена на рис. 4 [4].

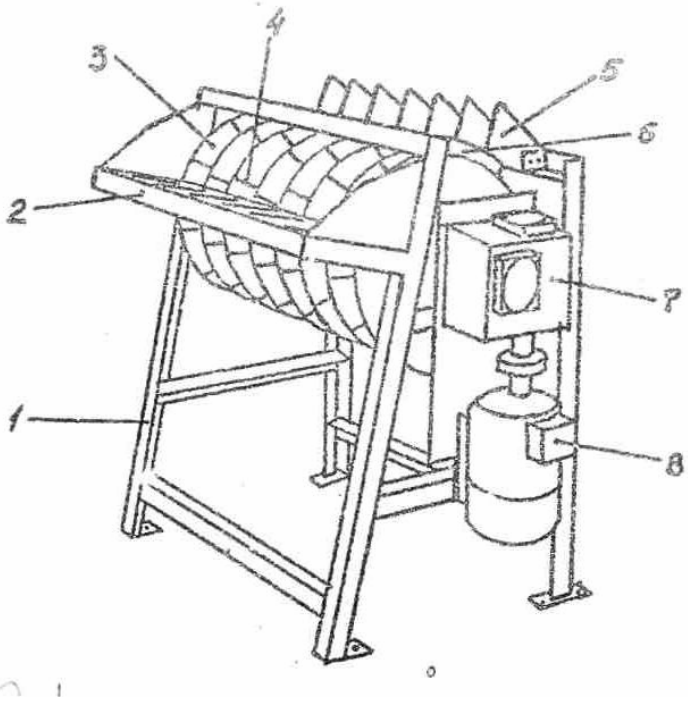


Рис. 4. Схема машины для резки клубней картофеля перед посадкой:
1 – рама; 2 – направляющий лоток; 3 – сферический диск; 4 – пруток; 5 – лезвие ножа;
6 – механизм фиксации; 7 – червячный редуктор; 8 – электродвигатель

Выводы и предложения. Обоснованы параметры устройства для резки клубней картофеля перед посадкой, позволяющего осуществлять технологический процесс резки клубней различных размеров на две примерно равные части.

Перспективой дальнейшего развития данных исследований является оптимизация параметров устройства и разработка на его базе комбинированных рабочих органов, совмещающих несколько технологических операций.

Список использованных источников

1. *Молоцкий М. Я.* Выращивание картофеля при малых нормах посадки : производственно-практическое издание / М. Я. Молоцкий – К. : Урожай, 1986. – 240 с.

2. *А. с. 1500249.* Устройство для резки клубней картофеля перед посадкой / В. Е. Зубков, П. М. Каданцев, В. В. Скотаренко, А. С. Самбур. – Опубл. 15.08.89, Бюл. № 30. – 3 с.

3. *А. с. №1669423.* Устройство для резки корнеклубнеплодов / В. Е. Зубков. – Опубл. 15.08.91, Бюл. № 30. – 3 с.

4. *Зубков В. Е.* Машина для резки клубней картофеля перед посадкой / В. Е. Зубков, А. О. Тихомиров // Луганский ЦНТИ. – Информ. листок № 241-91.

УДК 621.855.001.24

О.І. Пилипенко, д-р техн. наук
А.В. Полуян, аспірант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИРІШЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ ПІД ЧАС 3D ПРОЕКТУВАННЯ ЗІРОЧОК ЛАНЦЮГОВОЇ ПЕРЕДАЧІ

Представлена порівняльна характеристика вирішення інженерних задач під час 3D проектування зірочок ланцюгової передачі за допомогою високоінтелектуальних CAD/CAE/CAM програм.

Ключові слова: *оптимізація, ланцюгові передачі, 3D проектування.*

Представлена сравнительная характеристика решения инженерных задач при 3D проектировании звёздочек цепной передачи с помощью высокоинтеллектуальных CAD /CAE / CAM программ.

Ключевые слова: *оптимизация, цепные передачи, 3D проектирование.*

The comparative characteristics of engineering tasks in 3D design sprocket chain drive with highly intelligent CAD / CAE / CAM software.

Key words: *optimization, chain drives, 3D design.*

Постановка проблеми. Нині виникає необхідність модернізації та оптимізації технологічних машин та комплексів. Цю проблему допомагають вирішити сучасні потужні високоінтелектуальні CAD/CAE/CAM програми [1; 2; 3], здатні в комплексі розв'язувати складні науково-інженерні задачі, пов'язані зі структурно-параметричним синтезом, оптимізацією статичним та динамічним аналізом. Головною цінністю сучасних CAD/CAE/CAM програм є можливість проведення комп'ютерного експерименту та відтворення реальних умов роботи технологічної машини, механізму, деталі. Використання CAD/CAE/CAM програм полегшує інженеру-конструктору науково-технічний розрахунок, який здійснюється за допомогою спеціалізованих модулів відповідних програм на початковій стадії проектування. У CAD програмах розрахункові модулі, які в них інтегровані, здійснюють розрахунок на основі методу скінченних елементів типу Ansys, Cosmos. Це дає можливість комплексно розв'язувати складні науково-інженерні статичні та динамічні задачі і за результатами вносити різноманітні раціонально-оптимізаційні зміни в конструкцію механічних систем.

Раніше, до появи CAD/CAE/CAM програм, виникала складність під час графічного проектування 3D моделі, відтворення ізометрії деталей, механізму та власне самої ізометричної побудови. У наш час, під час застосування CAD/CAE/CAM програм, виникають питання та проблеми, які зорієнтовані у своїй основі на точність відтворення реальних умов роботи технологічної машини, механізму, деталі. Під час комплексного оцінювання значного обсягу отриманих результатів відбувається введення відповідних інтегральних критеріїв оцінювання прийнятих технічних рішень. Коло питань та проблем звужується або розширюється залежно від спроектованого об'єкта, тобто технологічної машини, одного з її модулів чи окремо взятої деталі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні використання в експериментальній науково-дослідній сфері CAD/CAE/CAM програм набуває великих масштабів. Причини в тому, що це пов'язано з можливістю проведення експерименту, в якому враховуються та відтворюються реальні умови роботи технологічної машини, механізму, деталі. В таких експериментах достатньо створити 3D модель машини, механізму чи деталі. Не виникає необхідності створювати реальні експериментальні машини, механізми, що у свою чергу, дозволяє заощадити час і кошти.

Серед CAD/CAE/CAM програм можна виділити такий програмний продукт, як SolidWorks. Це продукт компанії SolidWorks Corporation (нині дочірня компанія Dassault Systèmes). SolidWorks є ядром інтегрованого комплексу автоматизації підприємства, за допомогою якого здійснюється підтримка життєвого циклу виробу згідно з концепцією CALS-технологій. Програма з'явилась у 1993 році та склала конкуренцію

таким продуктам, як AutoCAD та Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS і Pro/ENGINEER, Solid Edge.

Досліджень у галузі розв'язання інженерних задач, пов'язаних з 3D проектуванням зірочок ланцюгової передачі за допомогою продукту SolidWorks, наскільки нам відомо, не існує.

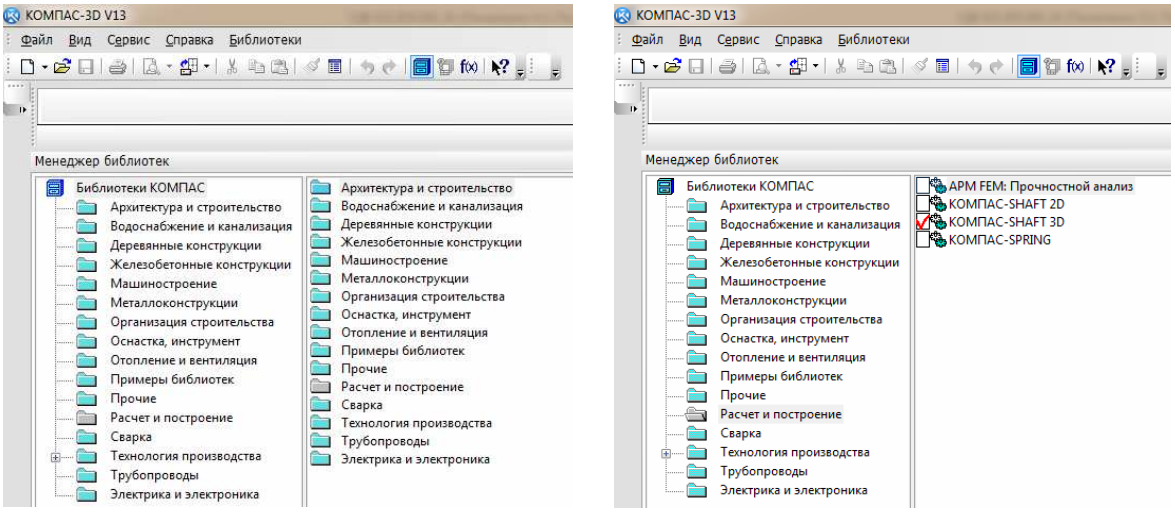
Мета статті. Представити порівняльну характеристику вирішення інженерних задач під час 3D проектування зірочок ланцюгової передачі.

Виклад основного матеріалу. Під час 3D проектування використовуємо параметри та якісні характеристики зірочок ланцюгової передачі за ГОСТ 591-69.

Розглянемо два випадки:

1. 3D проектування зірочок ланцюгової передачі за допомогою продукту АСКОН "КОМПАС-3D" V13.

Цей програмний продукт має у своєму складі менеджер бібліотек (рис. 1), який містить папку "Розрахунок і побудова" (рис. 1, *а*). У цій папці розміщені програмні модулі (рис. 1, *б*), які використовуються для розрахунку та побудови 3D моделей, зокрема, "КОМПАС – SHAFT 3D".



а *б*

Рис. 1. Менеджер бібліотек продукту АСКОН "КОМПАС-3D" V13

"КОМПАС – SHAFT 3D" містить у своєму складі модулі (рис. 2), які використовуються для розрахунку і побудови механічних передач.

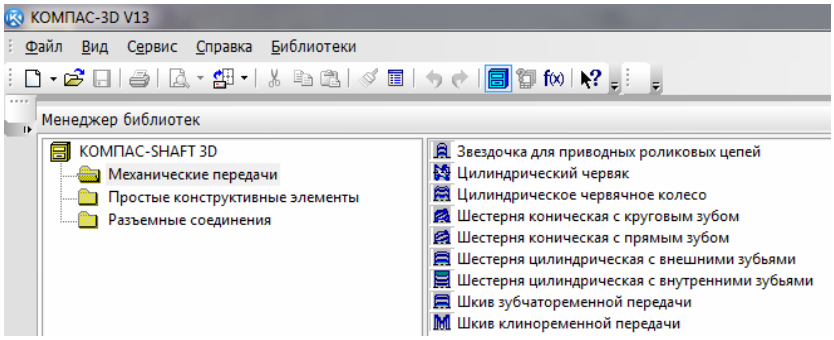


Рис. 2. Вікно можливостей розрахунку та побудови модуля "КОМПАС – SHAFT 3D"

Нас цікавить розрахунок та побудова зірочок для приводних роликових ланцюгів. Завантажимо цей модуль (рис. 3) та розглянемо його можливості.

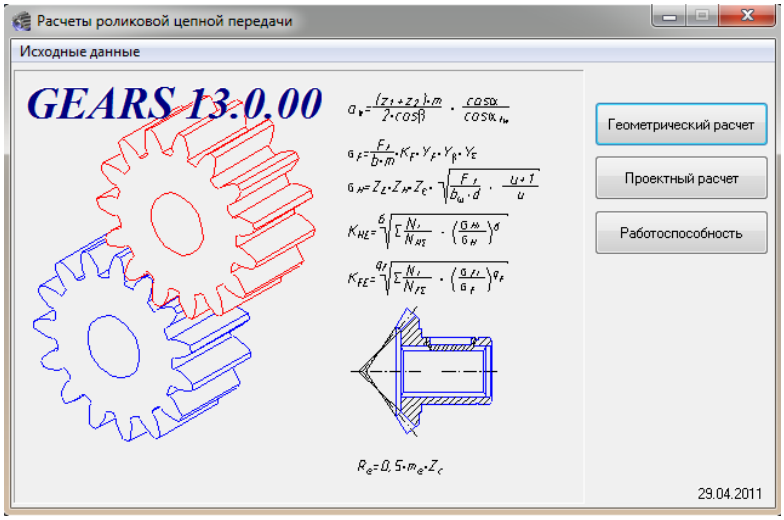


Рис. 3. Вікно можливостей прикладної програми модуля "КОМПАС – SHAFT 3D"

Виберемо для розрахунку підпрограму "Геометрический расчёт". У вікні, яке з'явилося (рис. 4), як бачимо, можна задавати та вибирати різні параметри.

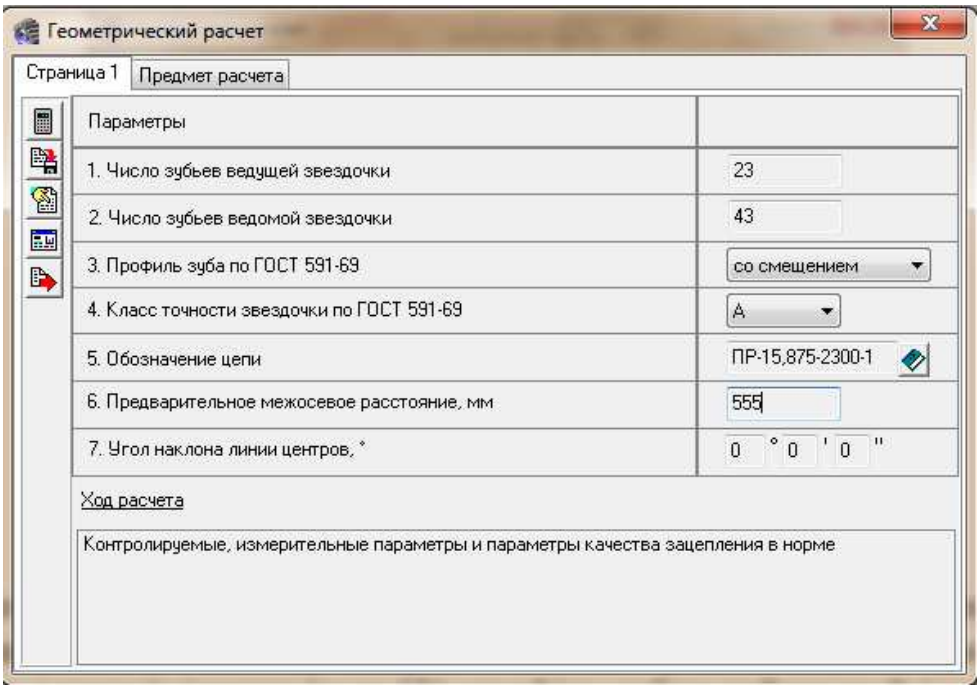
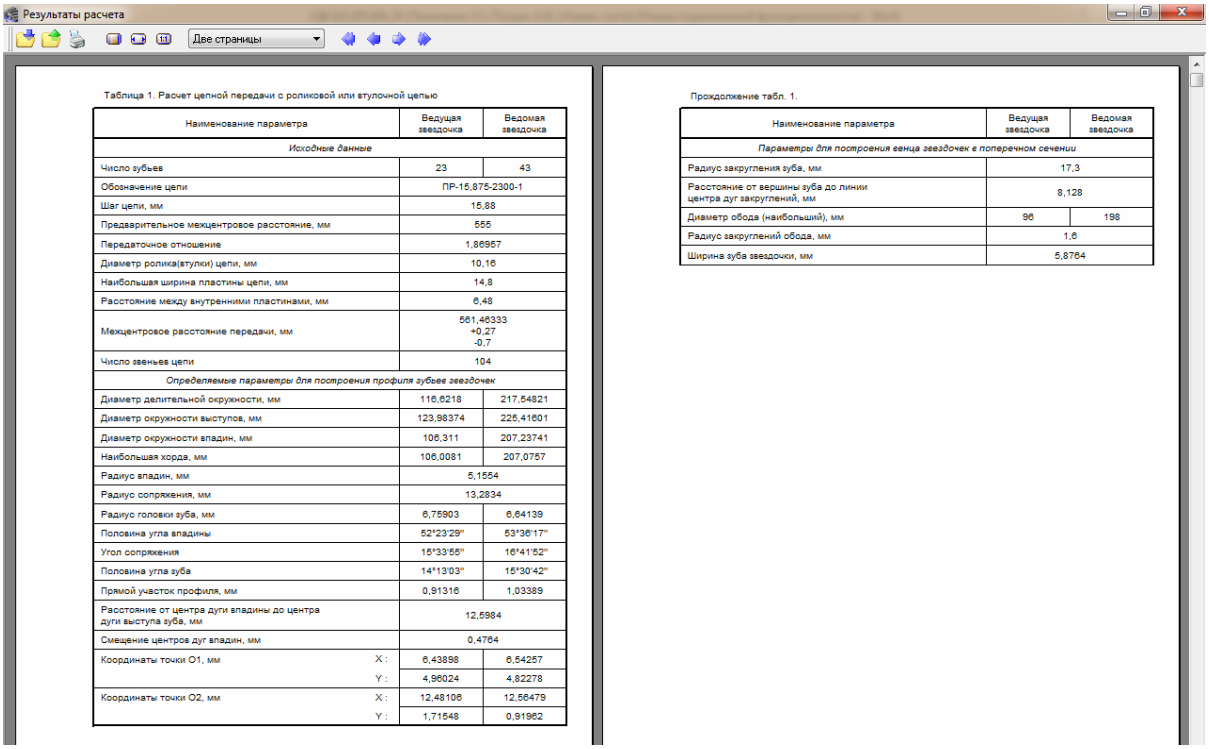


Рис. 4. Вікно внесення параметрів для геометричного розрахунку ланцюгової передачі

Задаємо, наприклад, такі параметри: кількість зубців ведучої зірочки (z_1 = 23); кількість зубців веденої зірочки (z_2 = 43); профіль зубця "зі зміщенням"; клас точності зірочки "А"; ланцюг ПР-15,875-2300-1; попередня міжосьова відстань 555 мм; кут нахилу лінії центрів "0" (рис. 4). Після внесення даних програма виконає розрахунок.

У результаті розрахунку отримаємо параметри (рис. 5), за якими програма буде будувати 3D моделі ведучої (рис. 6, *а*) та веденої (рис. 6, *б*) зірочок.


Результаты расчета

Две страницы

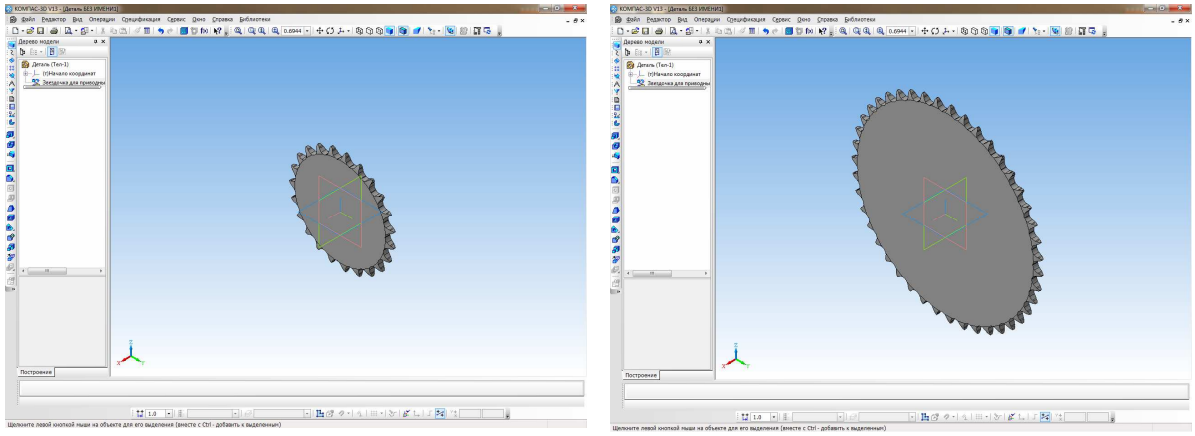
Таблица 1. Расчет цепной передачи с роликовой или втулочной цепью

Наименование параметра		Ведущая звездочка	Ведомая звездочка
Исходные данные			
Число зубьев		23	43
Обозначение цепи		ПР-15,875-2300-1	
Шаг цепи, мм		15,88	
Предварительное межцентровое расстояние, мм		555	
Передаточное отношение		1,86957	
Диаметр ролика(втулки) цепи, мм		10,16	
Наибольшая ширина пластины цепи, мм		14,8	
Расстояние между внутренними пластинами, мм		6,48	
Межцентровое расстояние передачи, мм		561,46333 +0,27 -0,7	
Число звеньев цепи		104	
Определяемые параметры для построения профиля зубьев звездочек			
Диаметр делительной окружности, мм		116,6218	217,54821
Диаметр окружности выступов, мм		123,98374	225,41601
Диаметр окружности впадин, мм		106,311	207,23741
Наибольшая хорда, мм		106,0081	207,0757
Радиус впадин, мм		5,1554	
Радиус сопряжения, мм		13,2834	
Радиус головки зуба, мм		6,75903	6,64139
Половина угла впадины		52°23'29"	53°36'17"
Угол сопряжения		15°33'55"	16°41'52"
Половина угла зуба		14°13'03"	15°30'42"
Прямой участок профиля, мм		0,91316	1,03389
Расстояние от центра дуги впадины до центра дуги выступа зуба, мм		12,5984	
Смещение центров дуг впадин, мм		0,4764	
Координаты точки O1, мм	X :	6,43898	6,54257
	Y :	4,96024	4,82278
Координаты точки O2, мм	X :	12,48106	12,56479
	Y :	1,71548	0,91962

Продолжение табл. 1.

Наименование параметра	Ведущая звездочка	Ведомая звездочка
Параметры для построения венца звездочек в поперечном сечении		
Радиус закругления зуба, мм	17,3	
Расстояние от вершины зуба до линии центра дуг закруглений, мм	8,128	
Диаметр обода (наибольший), мм	96	198
Радиус закруглений обода, мм	1,6	
Ширина зуба звездочки, мм	5,8764	

Рис. 5. Результати розрахунку ланцюгової передачі



а *б*

Рис. 6. 3D моделі зірочок, побудовані за допомогою прикладної програми модуля "КОМПАС – SHAFT 3D": а – 3D модель ведучої зірочки; б – 3D модель веденої зірочки

2. 3D проектування зірочок ланцюгової передачі за допомогою продукту дочірньої компанії Dassault Systèmes – SolidWorks 2013.

Цей програмний продукт має у своєму складі бібліотеку проектування (рис. 7), в якій містяться підбібліотеки проектування стандартних елементів Toolbox.

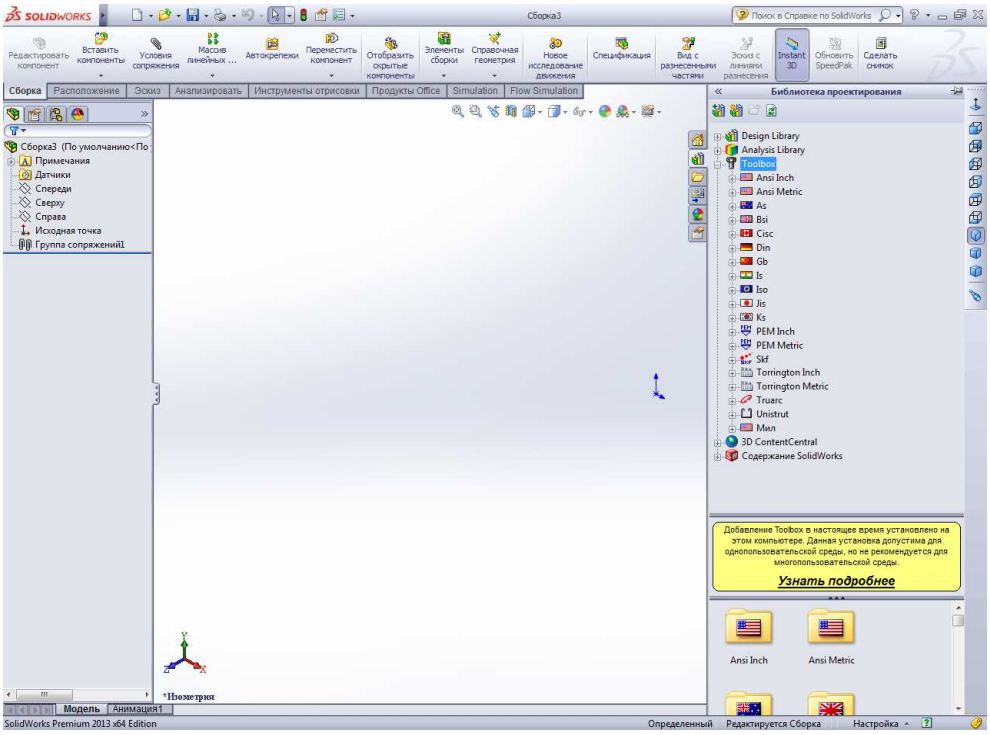


Рис. 7. Вікно програми SolidWorks 2013 із завантаженою бібліотекою проектування стандартних елементів

Із підбібліотеки Toolbox вибираємо стандартні елементи ланцюгової передачі згідно зі стандартом ISO 606-94 (рис. 8).

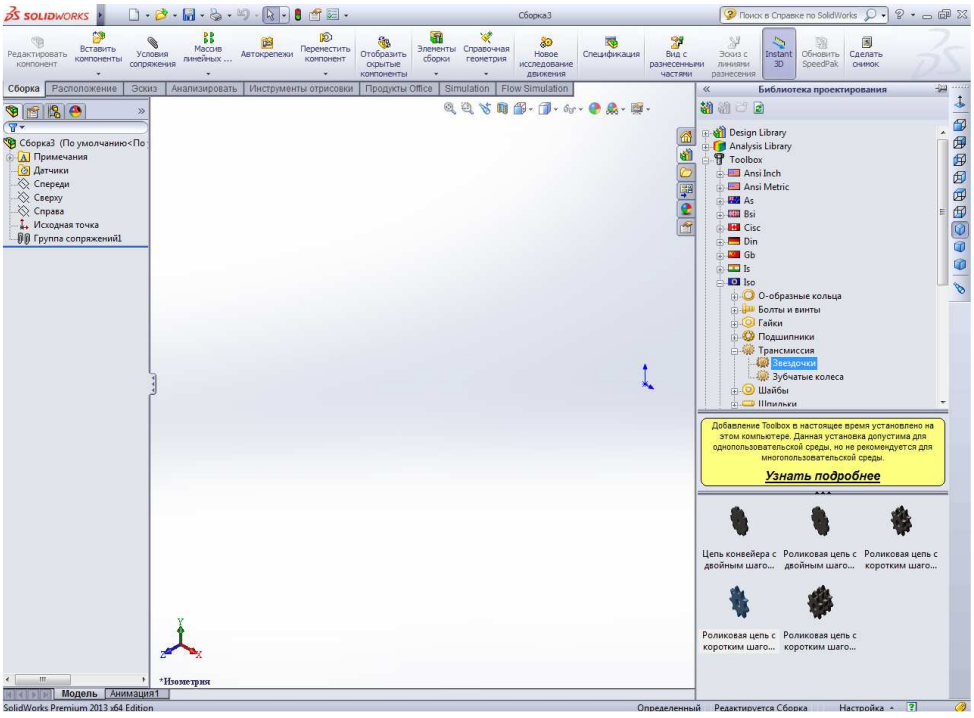


Рис. 8. Вікно програми SolidWorks 2013 із завантаженою та вибраною підбібліотекою проектування трансмісії (ланцюгової передачі) згідно зі стандартом ISO 606-94

У результаті вибору для проектування елемента трансмісії – зірочки, програма запитує про параметри, за якими буде проектуватися її 3D модель (рис. 9).

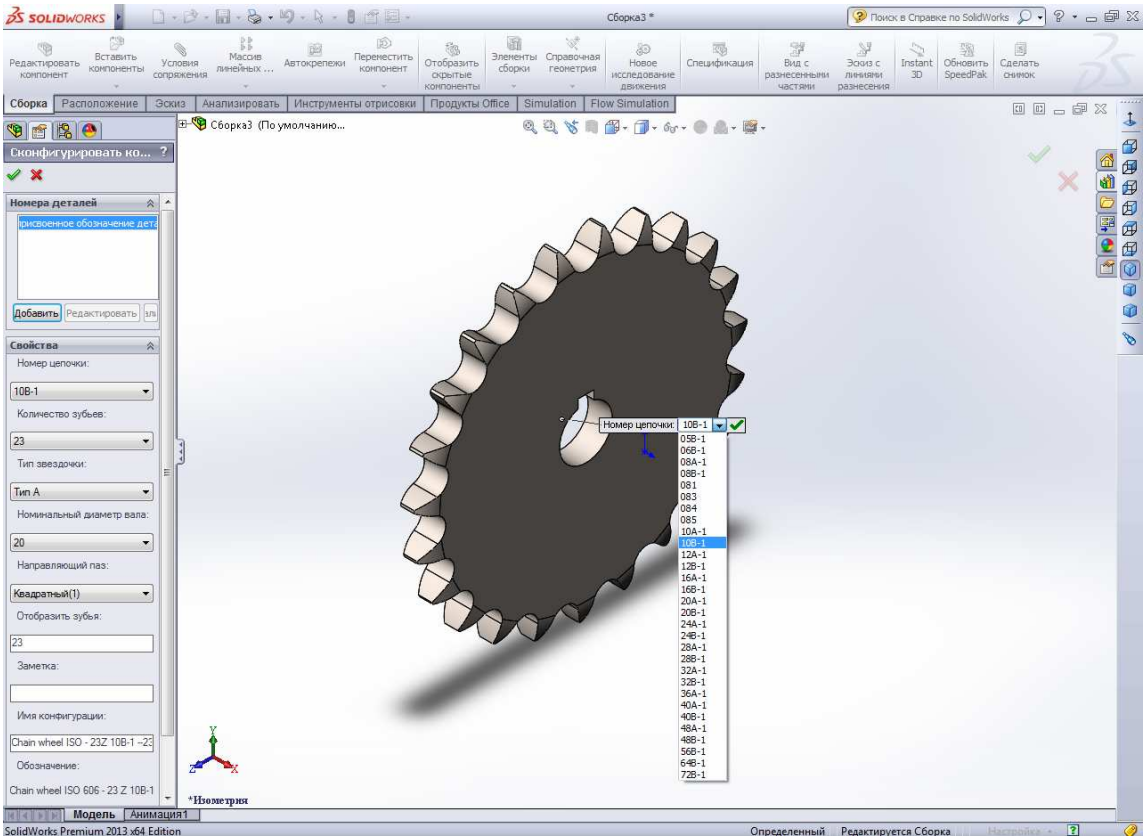
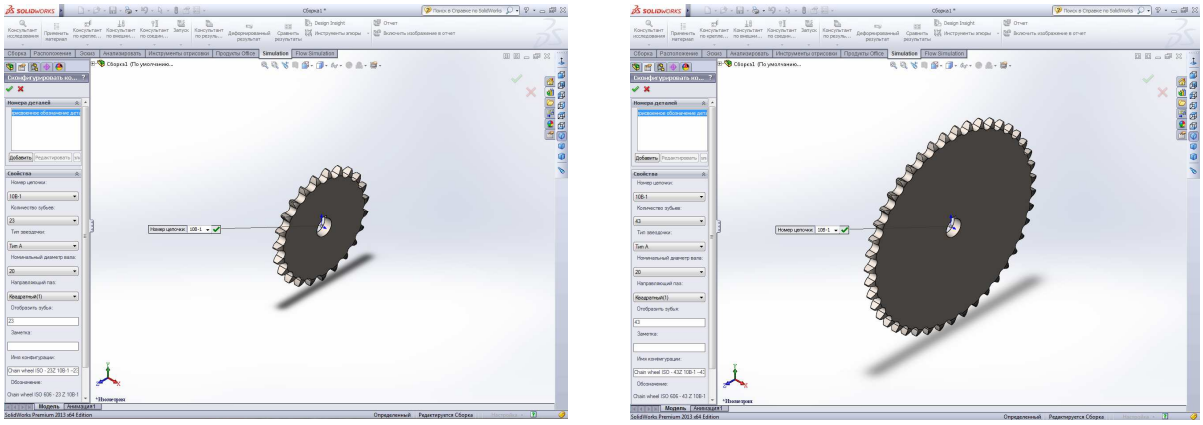


Рис. 9. Вікно внесення параметрів для 3D проектування зірочки ланцюгової передачі згідно зі стандартом ISO 606-94

Проектування 3D моделей ведучої та веденої зірочок ланцюгової передачі відбувається окремо. Задаємо параметри для проектування ведучої зірочки ланцюгової передачі: номер ланцюга вказуємо відповідно до стандарту ISO 606-94 10B-1, що відповідає ПР-15,875-2300-1 за стандартом ГОСТ 13568–97; кількість зубців зірочки $z_1 = 23$ (рис. 10, *а*); тип зірочки – "А"; номінальний діаметр вала – довільна величина; направляючий паз під шпонку – квадратний (виконання 1). Параметри для веденої зірочки ланцюгової передачі та її побудова однакові з ведучою, окрім числа зубців $z_2 = 43$ (рис. 10, *б*).



а *б*

Рис. 10. 3D моделі зірочок, побудовані за допомогою програми SolidWorks 2013: а – 3D модель ведучої зірочки; б – 3D модель веденої зірочки

Порівнюючи розглянуті випадки вирішення складних інженерних задач під час 3D проектування зірочок ланцюгової передачі, бачимо, що програмний продукт "КОМПАС-3D" V13 дає змогу вибрати більше параметрів для розрахунку та побудови

(профіль зубця зірочки: зі зміщенням чи без зміщення; кут нахилу лінії центрів зірочок ланцюгової передачі), порівняно з продуктом SolidWorks 2013, а це, у свою чергу, впливає на подальшу точність відтворення 3D моделі. Можливість побудови зірочок ланцюгової передачі з різними випадками зміщення центрів дуг западин (зі зміщенням та без зміщення) дає можливість розширення числа експериментів.

Висновки. Виходячи з викладеного вище матеріалу, можна стверджувати, що використання сучасних високоінтелектуальних CAD/CAE/CAM програм полегшує інженеру-конструктору технічні розрахунки, які програми здійснюють за допомогою спеціалізованих модулів проектування та дають можливість за короткий проміжок часу спроектувати 3D модель.

Використання програмного продукту "КОМПАС-3D" V13 дає більші можливості конструктору щодо вибору параметрів для розрахунку та побудови 3D моделі зірочки ланцюгової передачі і впливає на її подальшу точність графічного відтворення.

Список використаних джерел

1. *Алямовский А. А.* COSMOSWorks. Основы расчёта конструкций на прочность в среде SolidWorks / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2010. – 789 с.

2. *Paul M.* Kurowski. Engineering. Analysis with COSMOSWorks Professional. – Schroff Development Corporation (SDC), 2005. – 248 p.

3. *Кудрявцев Е. М.* КОМПАС-3D V10. Максимально полное руководство : в 3-х томах / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 1184 с.

УДК 539.3:534.1

О.О. Горбатко, канд. техн. наук
О.В. Савченко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОШАРОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З РІЗНОЮ СТРУКТУРОЮ АРМУЮЧИХ ШАРІВ

Розглянуто постановку проблеми оптимального проектування багатошарових конструкцій з композиційних матеріалів з різною структурою армування при обмеженнях на товщину, кут армування і жорсткість.

***Ключові слова**: композиційні матеріали, декремент коливань, оптимізація.*

Рассмотрена постановка задачи оптимального проектирования многослойных конструкций из композиционных материалов с разной структурой армирования при ограничениях на толщину, угол армирования и жесткость.

***Ключевые слова**: композиционные материалы, декремент колебаний, оптимизация.*

A problem definition for optimal design of multi-layered structures of composite materials with different reinforcement structure, under constraints for layer thickness, reinforcement angle and stiffness, is considered.

***Key words**: composite materials, decrement of vibrations, optimization.*

Вступ. Конструкції з композиційних матеріалів використовуються у багатьох галузях виробництва: в аерокосмічній техніці (блоки і корпуси ракет), літакобудуванні (обшивки літальних апаратів), автомобільній галузі (стельові і бокові панелі кузовів), залізничному транспорті (елементи вагонів), виробництві газотурбінних двигунів (лопатки турбін), суднобудуванні (корпуси яхт і суден) тощо [1-7]. Найчастіше елементи конструкцій являють собою багатошарову структуру, кожний шар якої спроектований відповідно до необхідних технологічних вимог. Кількість існуючих видів композиційних матеріалів ускладнює розрахунки елементів конструкцій у зв'язку з необхідністю врахування неоднорідностей як на мікро-, так і на макрорівнях. До першого рівня неоднорідності (мікрорівня) приводить наявність двох (або більше) фаз композиційного матеріалу з різними властивостями – основи (матриці) й армуючих елементів. На цьому етапі розрахунків необхідні ефективні характеристики можна визначити як усереднені властивості композиційного матеріалу за допомогою аналітичних, чисельних або експериментальних методів [8-10]. Другий рівень неодно-

рідності (макрорівень) пов'язаний з використанням багатошарових конструкцій із шарами матеріалів з різною структурою. На цьому рівні властивості елементів конструкцій визначаються за відповідними теоріями багатошарових конструкцій [11].

Постановка проблеми. Розглянемо методику використання скінченно-елементних моделей для визначення параметрів коливань конструкцій з в'язкопружних композиційних матеріалів. На першому етапі розрахунків, який стосується композиційного матеріалу, необхідно визначити ефективні характеристики з урахуванням структурних особливостей. Ефективні характеристики пропонується визначати за допомогою варіанта енергетичного методу, узагальненого для в'язкопружних матеріалів [8; 10]. Вхідними даними для розрахунків є характеристики складових композиційного матеріалу (основи й армуючих елементів): модулі пружності, коефіцієнти Пуассона, коефіцієнти демпфірування (або декременти коливань) й об'ємний вміст елементів (коефіцієнти армування). Згідно з цим методом у матеріалі виділяють представницький елемент об'єму (рис. 1, 2), для якого будують скінченно-елементні моделі з урахуванням граничних умов, що мають місце для цього елемента при його роботі у складі конструкції, і розв'язують крайові задачі для визначення дійсних та уявних складових елементів матриці комплексних модулів матеріалів. Для визначення матриці комплексних модулів відповідно до виду анізотропії матеріалу розглядають необхідну кількість варіантів деформації елемента і задач визначення напруженого стану.

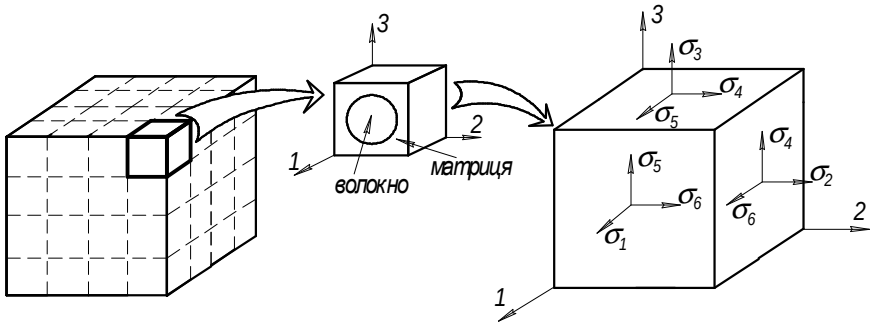
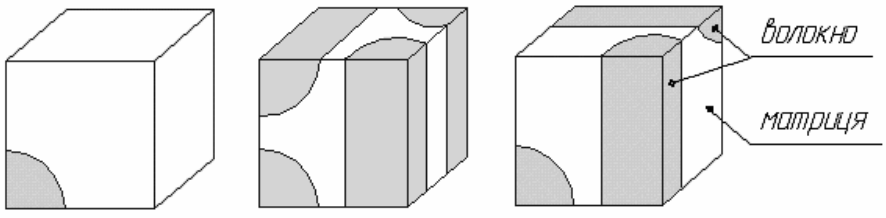


Рис. 1. Виділення представницького елемента об'єму

Вважатимемо, що під час вибору представницького об'єму забезпечуються умови періодичності структури, неперервності переміщень по об'єму елемента, а на поверхні розділу між суміжними елементами – умови неперервності поверхневих сил і переміщень.

Найбільш зручною для розрахунків формою елемента є куб (для об'ємних моделей) і квадрат (для плоских моделей). Приклади об'ємних представницьких елементів для композиційних матеріалів, армованих волокнами різної структури, наведено на рис. 2.



а *б* *в*

Рис. 2. Представницькі елементи об'єму для однонаправленого (а), двонаправленого (б) і тринаправленого (в) композиційного матеріалу

Другий етап розрахунків – побудова математичної моделі елемента конструкції і рівнянь коливань у просторі інтегральних перетворень Фур'є. Вхідними даними на цьому етапі є знайдені на першому етапі ефективні характеристики композиційного матеріалу, а також характеристики елементів конструкції (габаритні розміри, товщина шарів, кути армування шарів тощо). Для побудови математичних моделей використовують гіпотези тео-

рій багатошарових конструкцій, що розглядаються (оболонок, пластин, балок, стержнів тощо) [11]. Рівняння коливань елементів конструкцій записують у просторі інтегральних перетворень Фур'є (частотному просторі), для того щоб безпосередньо використати частотно-залежні компоненти матриці комплексних модулів матеріалу, що знайдені на першому етапі. Після аналізу одержаних рівнянь за допомогою частотного методу скінченних елементів [3; 11] визначаються параметри конструкції, зокрема, декременти і частоти коливань, які на наступному етапі проектування оптимальної конструкції використовуються як цільові функції або обмеження. Для визначення оптимальних параметрів далі використовуються прийнятні методи оптимізації, зокрема, градієнтні методи теорії нелінійного проектування або пошукові методи [1; 7; 11; 12].

Послідовність етапів моделювання і розрахунку оптимальних конструкцій з композиційних матеріалів наведено на рис. 3.

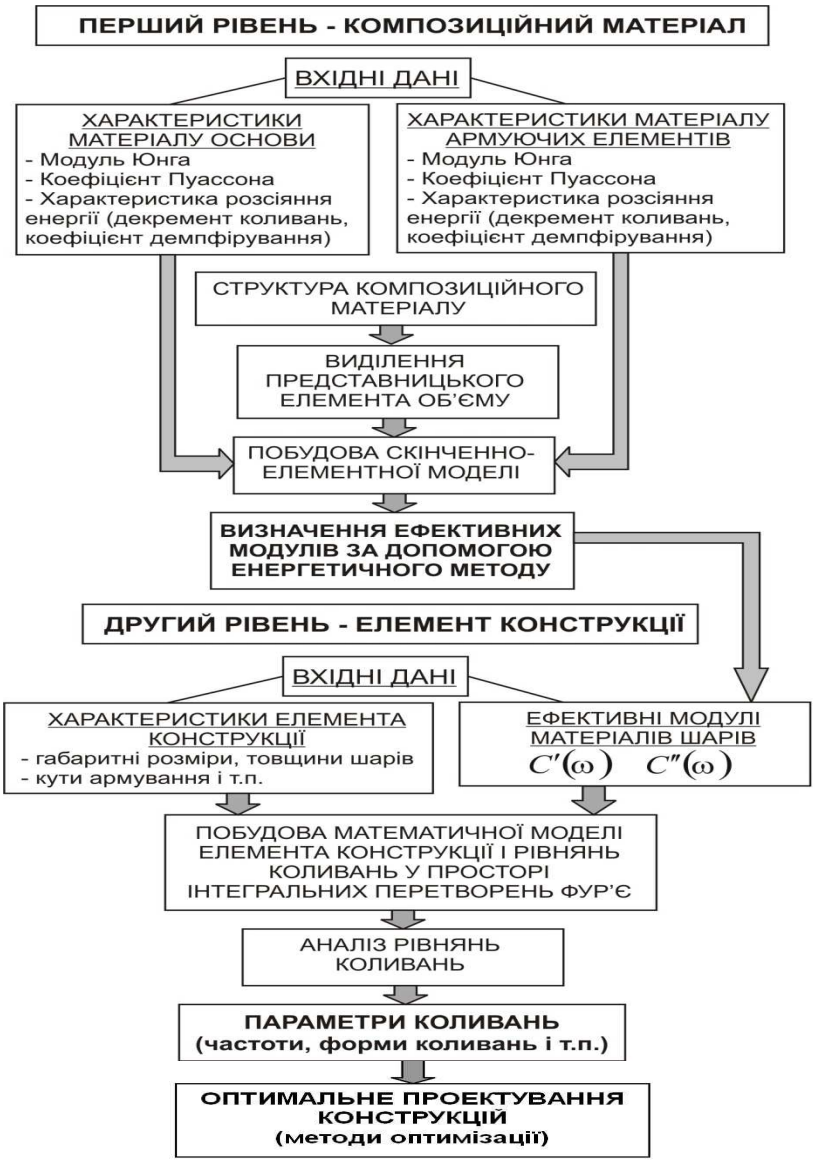


Рис. 3. Схема методики розрахунку елементів конструкцій із композиційних матеріалів

Аналіз коливань пластини з композиційного матеріалу. Розглянемо коливання багатошарової пластини з шарами композиційних матеріалів, армованих волокнами. Рівняння вимушених коливань пластини, записане у просторі перетворень Фур'є, відповідно до [3; 11] має вигляд

$$Z(i\omega)\ q = F(i\omega), \tag{1}$$

де q – зображення Фур'є узагальнених переміщень;

$F(i\omega)$ – зображення Фур'є вектора зовнішніх навантажень $F(t)$;

$Z(i\omega) = K(i\omega) + (i\omega)^2 M$ – комплексна матриця динамічної жорсткості, одержана методом скінченно-елементного моделювання у частотному просторі;

M – матриця мас;

ω – частота; $i = \sqrt{-1}$;

$K(i\omega)$ – комплексна матриця жорсткості:

$$K(i\omega) = \int_V (AN)^T C(i\omega)(AN)\,dV, \tag{2}$$

де $C(i\omega) = C'(i\omega) + iC''(i\omega)$ – матриця ефективних комплексних модулів, знайдена за допомогою енергетичного методу відповідно до виду композиційного матеріалу, $C'(i\omega)$, $C''(i\omega)$ – відповідно дійсна й уявна складові;

N – матриця функцій форм коливань;

A – матриця диференційних операторів:

$$A = \begin{bmatrix} \dfrac{\partial}{\partial x} & 0 & -z\dfrac{\partial^2}{\partial x^2} \\ & \dfrac{\partial}{\partial y} & -z\dfrac{\partial^2}{\partial y^2} \\ \dfrac{\partial}{\partial y} & \dfrac{\partial}{\partial x} & -2z\dfrac{\partial^2}{\partial x \partial y} \end{bmatrix}.$$

Функції форми згинальних коливань прямокутної, шарнірно закріпленої пластини мають вигляд [11]

$$N = \begin{bmatrix} \cos\alpha x \sin\beta y & 0 & 0 \\ 0 & -\sin\alpha x \cos\beta y & 0 \\ 0 & 0 & \sin\alpha x \sin\beta y \end{bmatrix}, \tag{3}$$

де $\alpha = \dfrac{m\pi}{c}$, $\beta = \dfrac{n\pi}{b}$, $m, n = 1,\ 2, \ldots,\ r$;

c, b – розміри пластини.

Матриці мас, комплексної жорсткості і зовнішніх навантажень мають вигляд

$$K(i\omega) = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix},\ M = \begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 \\ 0 & m_{22} & 0 \\ 0 & 0 & m_{33} \end{bmatrix},\ F(i\omega) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F_3 \end{bmatrix}, \tag{4}$$

де $K_{11} = \left(A_{11}\alpha^2 + A_{66}\beta^2\right)\dfrac{cb}{4}$, $K_{21} = K_{12} = \left(A_{21} + A_{66}\right)\alpha\beta\dfrac{cb}{4}$,

$$K_{31} = K_{13} = -\left(B_{11}\alpha^3 + B_{21}\alpha\beta^2 + 2B_{66}\alpha\beta^2\right)\frac{cb}{4}, \quad K_{22} = \left(A_{22}\alpha^2 + A_{66}\beta^2\right)\frac{cb}{4},$$

$$K_{32} = K_{23} = -\left(B_{12}\alpha^2\beta + B_{22}\beta^3 + 2B_{66}\alpha^2\beta\right)\frac{cb}{4}, \tag{5}$$

$$K_{33}=\left(D_{11}\alpha^4+D_{12}\alpha^2\beta^2+D_{21}\alpha^2\beta^2+D_{22}\beta^4+4D_{33}\alpha^2\beta^2\right)\frac{cb}{4},$$

$$m_{11}=m_A\frac{cb}{4},\ m_{22}=m_A\frac{cb}{4},\ m_{33}=\left(m_I\left(\alpha^2+\beta^2\right)+m_A\right)\frac{cb}{4},$$

$$F_3=F_z\frac{cb}{mn\pi}\left(\left(-1\right)^m-1\right)\left(\left(-1\right)^n-1\right),$$

$$A_{ij}=2\sum_{k=1}^{n}C_{ij}^{(k)}h_k,\ B_{ij}=2\sum_{k=1}^{n}C_{ij}^{(k)}\frac{z_k^2-z_{k-1}^2}{2};\ D_{ij}=2\sum_{k=1}^{n}C_{ij}^{(k)}\frac{z_k^3-z_{k-1}^3}{3},$$

$$m_A=2\sum_{k=1}^{n}\rho_k h_k,\ m_I=2\sum_{k=1}^{n}\rho_k\frac{z_k^3-z_{k-1}^3}{3},$$

h_k – товщина k-го шару;

z_k – відстань від нейтральної площини до нижньої площини k-го шару;

ρ_k – густина матеріалу k-го шару;

F_z – складова навантаження вздовж осі z, відповідно прийнятій формі коливань.

Після розв'язку рівняння (1) відносно зображень переміщень q для переходу до часового простору застосовується обернене швидке перетворення Фур'є.

Якщо пластина є симетричною відносно серединної площини і $B_{ij}=0$, то згинальні коливання описуються рівняннями [11]

$$K_{33}q_w+\left(i\omega\right)^2M_{33}q_w=F_3\left(i\omega\right), \tag{6}$$

де K_{33} – комплексна матриця жорсткості:

$$K_{33}=\left(D_{11}\alpha^4+\left(D_{12}+D_{21}+4D_{66}\right)\alpha^2\beta^2+D_{22}\beta^4\right)\frac{cb}{4},$$

q_w – узагальнене переміщення (прогин) у просторі перетворень Фур'є.

Одержати частоти, що відповідають прийнятій формі коливань, розглянути вимушені коливання при заданому навантаженні і визначити декремент коливань можна з аналізу рівняння (6).

Після визначення власних форм і відповідних їм частот коливань декремент визначається за однією з формул:

$$\Delta=2\pi\frac{\mathrm{Im}\left(K_{33}\left(i\omega\right)\right)}{\mathrm{Re}\left(K_{33}\left(i\omega\right)\right)}, \tag{7}$$

$$\Delta=\pi\frac{q^H\,\mathrm{Im}\left(K(i\omega)\right)q}{q^H\,\mathrm{Re}\left(K(i\omega)\right)q}, \tag{8}$$

де $\mathrm{Im}\left(K(i\omega)\right)$, $\mathrm{Re}\left(K(i\omega)\right)$, $\mathrm{Im}\left(\omega\right)$, $\mathrm{Re}\left(\omega\right)$ – відповідно уявні та дійсні частини матриці жорсткості $K(i\omega)$ і частоти ω.

Необхідно зазначити, що під час побудови рівнянь коливань (1) використано гіпотезу Кірхгофа, яка може використовуватись для тонких пластин з композиційних матеріалів, достатньо жорстких на зсув.

Розглядаються тришарові, шарнірно закріплені по контуру пластини з композиційних матеріалів, армованих неперервними волокнами в одному, двох, трьох і чотирьох ортогональних напрямках, і пластина, армована короткими однонаправленими волокнами. Структуру одного шару пластин наведено на рис. 4 (ϕ – кут армування або кут

повороту армуючих волокон). Компоненти матриці ефективних комплексних модулів $C'(i\omega)$, $C''(i\omega)$ матеріалу пластини знайдено за допомогою енергетичного методу для просторово-армованих композиційних матеріалів [8].

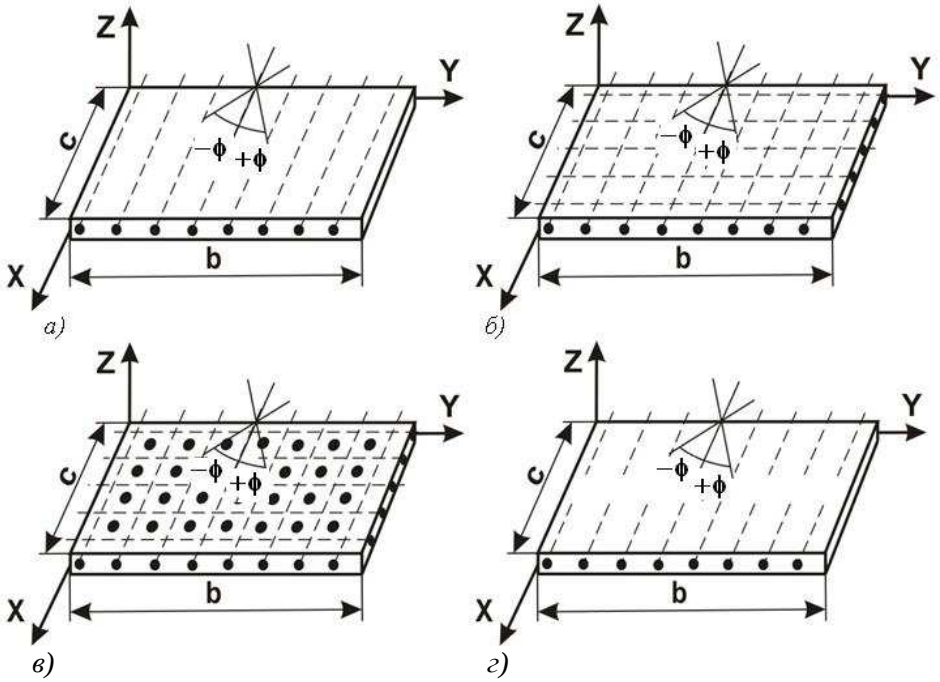


Рис. 4. Шари пластини, армовані суцільними волокнами в одному (а), двох (б), трьох (в) напрямках і армовані короткими волокнами (г)

Постановка задачі оптимізації. Нижче наведено приклади оптимізації квадратних і прямокутних тришарових пластин з різними варіантами структури шарів за критерієм максимального демпфірування. Розглядалася пластина з трьох шарів (рис. 5) з ефективними комплексними модулями матеріалів, визначеними за описаною вище методикою.

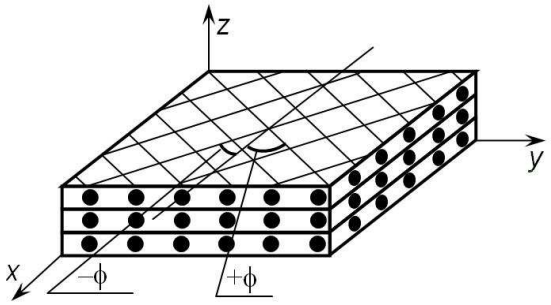


Рис. 5. Тришарова пластина з шарів, армованих волокнами

Задача оптимізації формулювалася в такому вигляді [11]:

Знайти вектор проектних параметрів

$$x = (\phi_1,\ \phi_2,\ \phi_3,\ h_1,\ h_2,\ h_3),$$

де h_i – товщини шарів, ϕ_i – кути армування, який забезпечує максимальне значення критерію оптимізації – декремента коливань пластини $\Delta(x,\omega) \to \Delta_{\max}(x_{опт})$ при обмеженнях на параметри проекту $\phi_{\min} \le \phi \le \phi_{\max}$, $h_{\min} \le h \le h_{\max}$ та на сумарну жорсткість пластини на згин $(EJ)^{\Sigma}_{\min} \le (EJ)^{\Sigma} \le (EJ)^{\Sigma}_{\max}$, а також при умовах типу рівностей $Z(x,u) = 0$, якими є рівняння стану.

Товщини шарів змінюються в діапазоні від $h_{\min} = 0,01\,м$ до $h_{\max} = 0,06\,м$ з кроком $0,01\,м$, а кути армування – від $\phi_{\min} = 0$ до $\phi_{\max} = \frac{\pi}{2}$. Введемо додаткове обмеження – сумарна товщина пластини не повинна перевищувати $0,08\,м$.

Розглянемо задачу оптимізації тришарової пластини з шарами, армованими неперервними (суцільними) однонаправленими, двонаправленими, тринаправленими і чотиринаправленими волокнами.

Параметри матеріалу пластин: комплексний модуль армуючого матеріалу $K_1 = (93 + 3,73i)\cdot 10^9$ *Па*; комплексний модуль основи $K_2 = (33 + 0,595i)\cdot 10^8$ *Па*, коефіцієнти Пуассона армуючого матеріалу й основи відповідно $\nu_1 = 0,267$ і $\nu_1 = 0,35$, густини матеріалів армуючого матеріалу й основи відповідно $\rho_1 = 4,2\cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$ і $\rho_2 = 1,5\cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$, форма коливань – перша.

Коефіцієнти армування кожного шару сталі ($\eta_1 = 0,3$, $\eta_2 = 0,1$, $\eta_3 = 0,5$).

Початкове значення вектора проектних параметрів – $x_0 = \left(\frac{\pi}{6}\ 0\ \frac{\pi}{3}\ 0,01\ 0,01\ 0,01\right)$.

Результати оптимізації для квадратної і прямокутної пластин та розглянутих варіантів структур представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати оптимізації тришарових пластин, армованих неперервними однонаправленими, двонаправленими, тринаправленими і чотиринаправленими волокнами

Волокна	h_1, *м*	h_2, *м*	h_3, *м*	ϕ_1, *рад*	ϕ_2, *рад*	ϕ_3, *рад*	Δ_0	Δ_{opt}
Квадратна пластина, $c = 2\,м, b = 2\,м$								
Однонаправлені	0,01	0,03	0,02	0	0,0035	1,5708	0,3069	0,4406
Двонаправлені	0,01	0,06	0,01	0,0007	0	1,5685	0,3653	0,4186
Тринаправлені	0,01	0,06	0,01	0	0,0024	1,5708	0,3182	0,3348
Чотиринаправлені	0,01	0,06	0,01	0,785	0,7864	0,7852	0,4366	0,4778
Прямокутна пластина, $c = 2\,м, b = 1\,м$								
Однонаправлені	0,01	0,06	0,01	0	0,0019	1,5708	0,3626	0,4506
Двонаправлені	0,03	0,02	0,03	1,5708	0	1,5708	0,3397	0,4192
Тринаправлені	0,01	0,06	0,01	0,0044	0	1,5708	0,3176	0,3229
Чотиринаправлені	0,01	0,06	0,01	0,7852	0,7851	0	0,4253	0,4484
Прямокутна пластина, $c = 1\,м, b = 2\,м$								
Однонаправлені	0,02	0,04	0,01	0	1,5703	1,5708	0,2947	0,4231
Двонаправлені	0,01	0,06	0,01	0,0002	0	1,5708	0,3844	0,4236
Тринаправлені	0,01	0,06	0,01	0,0051	0	1,5708	0,3176	0,3229
Чотиринаправлені	0,01	0,06	0,01	0,7851	0,7855	0	0,4253	0,4484

Розглянемо варіант армування тришарової пластини короткими однонаправленими волокнами.

Параметри матеріалу пластин: комплексний модуль армуючого матеріалу $K_1 = (103 + 3,9655i)\cdot 10^9$ *Па*; комплексний модуль основи $K_2 = (3 + 0,561i)10^9$ *Па*, коефіцієнти Пуассона армуючого матеріалу й основи відповідно $\nu_1 = 0,252$ і $\nu_1 = 0,34$, густини матеріалів армуючого матеріалу й основи відповідно $\rho_1 = 4,5\cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$ і $\rho_2 = 1,2\cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$, форма коливань – перша.

Коефіцієнти армування кожного шару сталі ($\eta_1 = 0{,}3$, $\eta_2 = 0{,}4$, $\eta_3 = 0{,}5$).

Початкове значення вектора проектних параметрів – $x_0 = \left(0 \ \frac{\pi}{4} \ \frac{\pi}{2} \ 0{,}01 \ 0{,}01 \ 0{,}01 \right)$.

Результати оптимізації для квадратної і прямокутної пластин показано в табл. 2.

Таблиця 2

Результати оптимізації тришарових пластин, армованих короткими однонаправленими волокнами

Пластина	h_1, *м*	h_2, *м*	h_3, *м*	ϕ_1, *рад*	ϕ_2, *рад*	ϕ_3, *рад*	Δ_{opt}
Квадратна $c = 2$ *м*, $b = 2$ *м*	0,04	0,03	0,01	0	1,5708	1,5689	**0,4728**
Прямокутна $c = 2$ *м*, $b = 1$ *м*	0,01	0,06	0,01	0	1,5703	1,5646	**0,4483**
Прямокутна $c = 1$ *м*, $b = 2$ *м*	0,04	0,01	0,01	0	1,5708	1,5708	**0,4680**

Висновки. Побудовано методику використання скінченно-елементних моделей у просторі інтегральних перетворень Фур'є для аналізу розсіяння енергії в конструкціях з композиційних матеріалів. Розглянуто постановки задач проектування оптимальних конструкцій з максимальним демпфіруванням. Показано можливість використання ефективних параметрів композиційних матеріалів періодичної структури, одержаних за допомогою методу скінченних елементів, для розрахунку й оптимізації багатошарових пластин з максимальними параметрами демпфірування, наведено результати пошуку оптимальних структур тришарових пластин, армованих суцільними однонаправленими, двонаправленими, тринаправленими і чотиринаправленими волокнами, а також короткими однонаправленими волокнами при обмеженнях на товщини, кути армування і жорсткості.

Методика може бути використана під час проектування багатошарових тонкостінних конструкцій з максимальним демпфіруванням.

Список використаних джерел

1. *Баничук Н. В.* Оптимизация элементов конструкций из композиционных материалов / Н. В. Баничук, В. В. Кобелев, Р. Б. Рикардс. – М. : Машиностроение, 1988. – 224 с.

2. *Берлин Ал.* Современные полимерные композиционные материалы / Ал. Берлин // Соросовский образовательный журнал. – 1995. – № 1. – С. 57-65.

3. *Дубенец В. Г.* Колебания демпфированных композитных конструкций: в 2-х т. / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – К. : Вища школа, 1995. – Т.1. – 226 с.

4. *Композиционные* материалы в технике / под ред. Д. М. Карпиноса. – К. : Техніка, 1985. – 152 с.

5. *Кристенсен Р.* Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. – М. : Мир, 1982. – 334 с.

6. *Современные* композиционные материалы / под ред. Л. Браутмана, Р. Крока. – М. : Мир, 1970. – 672 с.

7. *Тетерс Г. А.* Многоцелевое оптимальное проектирование композитных конструкций. Обзор / Г. А. Тетерс, А. Ф. Крегерс // Механика композитных материалов. – 1996. – № 3, Т. 32. – С. 363-376.

8. *Дубенець В. Г.* Визначення ефективних характеристик в'язкопружних композиційних матеріалів, армованих волокнами / В. Г. Дубенець, О. О. Яковенко // Проблемы прочности. – 2009. – № 4. – С. 124-132.

9. *Проектирование* конструкций из текстильных композитов с оптимизированными виброакустическими и демпфирующими свойствами с учетом сдвиговых эффектов / В. Хуфенбах, Л. Кролл, О. Тагер, Б. Жоу // Механика композитных материалов. – 2005. – № 3, Т. 41. – С. 289-302.

10. *Foye, R. L.* Theoretical Post-Yielding Behavior of Composite Laminates. – J. Composite Materials. – 1973. – vol.7. – P. 310-319.

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

12. *Савченко О. В.* Оптимальне проектування конструкцій із пасивним демпфіруванням / О. В. Савченко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2004. – № 21. – С. 24-39.

УДК 004:65.011 (045)

В.В. Трейтяк, канд. техн. наук
П.М. Ратушний, студент
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

О.О. Борисов, асистент
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МЕТОД СИНТЕЗУ ПРОЕКТНИХ ВАРІАНТІВ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ЛІТАКА

Запропоновано підхід до формалізації та автоматизації одного з етапів концептуального проектування – вибору проектних варіантів. Слабоформалізованість цього етапу та невизначеність вхідних даних ліквідується за рахунок використання розробленого методу синтезу проектних варіантів. Алгоритмізовано етапи методу синтезу проектних варіантів, а саме: формування компонентів технічної системи, формування вимог до системи, визначення варіантів задоволення вимог до системи, встановлення проектних варіантів, генерація проектних варіантів та оцінювання і вибір оптимального проектного варіанта. Розроблено евристичний алгоритм генерації проектних варіантів, який дозволяє виключити завчасно непридатні конфігурації варіантів задоволення вимог.

Ключові слова: *проектування, концептуальне проектування, алгоритм, метод.*

Предложен подход к формализации и автоматизации одного из этапов концептуального проектирования – выбора проектных вариантов. Слабоформализованность данного этапа и неопределённость входных данных ликвидируется за счет использования разработанного метода синтеза проектных вариантов, а именно: формирование компонентов технической системы, формирование условий системы, определение вариантов удовлетворения условий к системе, установление проектных вариантов, генерация проектных вариантов, оценка и выбор оптимального проектного варианта. Разработан эвристический алгоритм генерации проектных вариантов, который позволяет исключить заведомо непригодные варианты удовлетворения условий.

Ключевые слова: *проектирование, концептуальное проектирование, алгоритм, метод.*

In this article approach to formalization and automation of one of stages of conceptual design – a choice of design options is offered. The Poorly formalization of this stage and uncertainty of entrance data is liquidated at the expense of use of the developed method of synthesis of design options, namely: formation of components of technical system, formation of conditions of system, definition of options of satisfaction of conditions to system, establishment of design options, generation of design options, an assessment and a choice of optimum design option. The heuristic algorithm of generation of design options which allows to exclude obviously unsuitable options of satisfaction of conditions is developed.

Key words: *design, conceptual design, algorithm, method.*

Постановка проблеми. Для проектування складних вузлів літака вітчизняними та закордонними розробниками інформаційних технологій створено велику кількість інтегрованих автоматизованих систем і технологій, які забезпечують інформаційну підтримку цього процесу відповідним інструментарієм. Проте жодна з них не має повністю формалізованого та програмно реалізованого етапу концептуального проектування, який відбувається в ході аналізу технічного завдання під час розроблення концептуального та ескізного проектів. Концептуальне проектування – окремий вид проектної діяльності. Його результат – варіанти концепцій технічної системи, що проектується, як у цілому, так і в окремих її частинах. Основні завдання концептуального проектування доводиться вирішувати на ранніх стадіях розроблення технічних систем: під час аналізу технічного завдання, опрацювання технічної пропозиції та ескізного проектування. Іншими словами – процес визначення «виду» майбутнього виробу. Місце та об'єм концептуального проектування як окремої пошукової процедури виконується згідно зі схемою, що представлена на рис. 1.

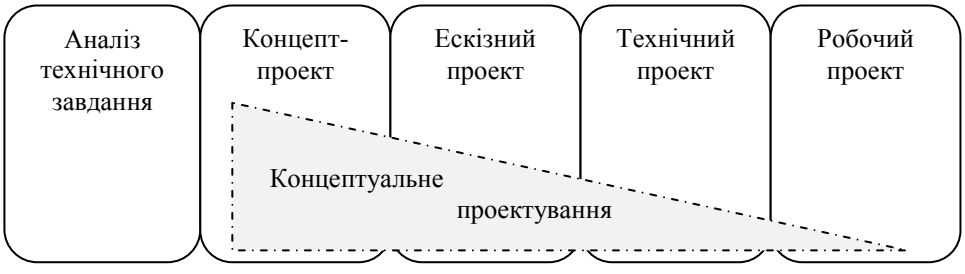


Рис. 1. Місце та об'єм концептуального проектування у процесі прийняття управлінських рішень

Концептуальне проектування – це найважливіша складова процесу створення нового виробу. Саме кількість опрацьованих концепцій майбутнього виробу визначає його новизну, якість та, відповідно, його конкурентоспроможність і обсяг продажу.

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасний стан досліджень у таких методологічних дисциплінах, як дослідження операцій, системотехніка, системний аналіз, а також у теорії прийняття рішень, теорії автоматичного управління не дозволяє досліджувати складні або слабоструктуровані динамічні об'єкти на ранніх етапах проектування [1; 2; 3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Математичний апарат (теорія множин, теорія структур та ін.) широко використовується в теорії систем, проте також не забезпечує формалізацію та алгоритмізацію проектування складних об'єктів [3]. Розглянуте науково-технічне завдання зводиться до розроблення технологій управління концептуальним проектуванням технічних систем.

Мета статті. Спираючись на функціональні можливості сучасних інтегрованих автоматизованих систем, математичний апарат та останні досягнення в галузі проектування складних динамічних об'єктів, необхідно формалізувати процес вибору проектних варіантів концептуального проектування з метою розроблення методу синтезу проектних варіантів для автоматизації процесу вибору проектних варіантів, враховуючи всі технічні вимоги та обмеження об'єкта проектування.

Виклад основного матеріалу. Вхідними даними для концептуального проектування служать сукупність вимог до технічної системи і набір структурних моделей. Завдання синтезу та вибору проектних варіантів (ПВ) полягає в генерації вихідної множини ПВ і виборі оптимального варіанта за багатьма критеріями. Будь-який ПВ у вихідній множині повинен задовольняти всі вимоги до системи, а оптимальний – повинен бути найкращим за сукупністю критеріїв. Як правило, основою для генерації ПВ служать часткові варіанти задоволення вимог (ВЗВ) до технічної системи, що описують конкретні способи модифікації (чи створення) компонентів системи.

Крім вибору єдиного ПВ, потрібно оцінити найважливіші показники проекту (такі, як вартість, складність реалізації і т. п.). Проте повністю формалізувати процес генерації ПВ на цей момент неможливо. Тому обраний проектний варіант слід розглядати як опорний і дати особі, що приймає рішення, додаткову можливість самостійного вибору ПВ. Це доцільно робити на множині не домінуючих (Парето-оптимальних) варіантів [2; 3].

Склад ПВ може бути описаний вектором булевих змінних $x = (x_1, x_2, ..., x_I)$. Для отримання множини ПВ необхідно згенерувати всі можливі конфігурації вектора x (по суті, всі можливі поєднання нулів і одиниць у всіх позиціях вектора) і виключити з них такі, які містять взаємовиключні ВЗВ і задовольняють не всі вимоги.

Найпростіший алгоритм генерації множини ПВ може бути розроблений на методі простого перебору [3; 4]. Вектор x подібний бітовому вектору тієї ж розмірності або бінарного числа з такою ж кількістю розрядів. У такому випадку одержання конфігурацій можливо за допомогою покрокового збільшення такого двійкового числа на одиницю. Недоліком такого алгоритму є велика кількість конфігурацій (2^I-1), яке необхідно розглянути.

В основу методу синтезу проектних варіантів покладено модель варіантів технічної системи, яка передбачає модифікацію (або створення) відповідних компонентів для задоволення кожної вимоги до системи. У загальному випадку для кожної вимоги таких ВЗВ може бути декілька. У свою чергу, ВЗВ може задовольняти одну або декілька вимог до технічної системи і припускати модифікацію одного або декількох компонентів. Кілька ВЗВ можуть вимагати модифікації одного і того ж компонента. Графічно це можна проілюструвати таким чином (рис. 2). Крім того, деякі ВЗВ можуть бути взаємовиключними (реалізація одного виключає можливість реалізації іншого).

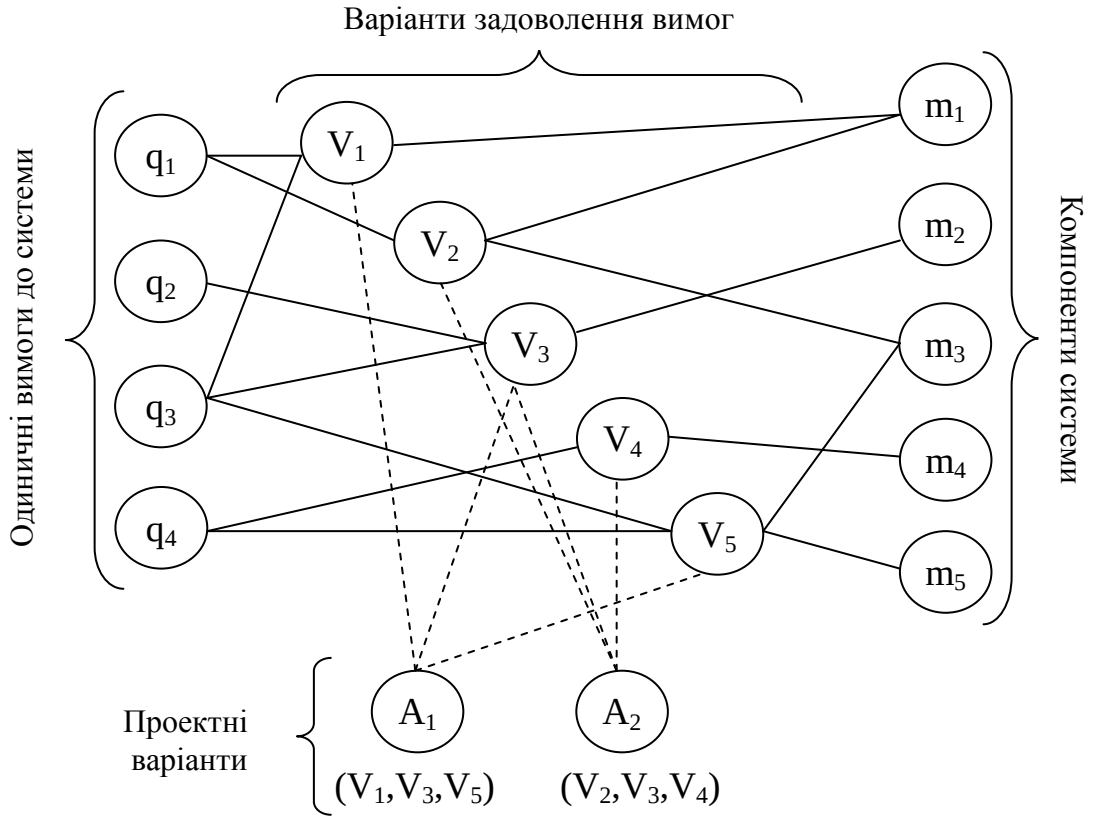


Рис. 2. Модель генерації проектних варіантів

Тоді ПВ будуть являти собою деяку підмножину множини ВЗВ, таку, щоб задовольнялися всі вимоги до проектованої технічної системи. У загальному випадку буде існувати кілька ПВ. Вибір найкращого проектного варіанта здійснюється за сукупністю критеріїв: задоволення вимог до технічної системи, вартості реалізації ПВ, об’єма модифікації компонентів. Для цього кожен ВЗВ оцінюється відповідними показниками.

Суть розробленого методу синтезу проектних варіантів концептуального проектування технічних систем літака полягає у виконанні таких етапів:

1. Формування компонентів технічної системи.
2. Формування вимог до системи.
3. Визначення варіантів задоволення вимог до системи.
4. Встановлення проектних варіантів.
5. Генерація проектних варіантів.
6. Оцінювання та вибір оптимального проектного варіанта.

У ході дослідження розроблено евристичний алгоритм генерації ПВ (рис. 3). Основою цього алгоритму служить розщеплення вектора *x* на два вектора, що не перетинаються між собою. Для кожного з них формується множина допустимих конфігурацій, які потім об'єднуються (в конфігурацію вектора *x*). Це дозволяє:

– не допустити завчасно непридатні конфігурації ВЗВ;

– дотримуватись покрокової процедури складання конфігурації вектора *x* з конфігурацій двох таких векторів (можливість обривати генерацію некоректних конфігурацій на ранніх стадіях).

Вектор x розщеплюється на два вектори x_l і x_N: $x_l \cup x_N = x$, $x_l \cap x_N = 0$. Змінні вектора x_l і відповідають ВЗВ, які задовольняють тільки одну якусь вимогу $(\forall x_t \in x_N)\left[\sum_{j=1}^{J} vq_{tj} > 1\right]$.

Змінні вектори x_N, навпаки, відповідають ВЗВ, що задовольняють більше однієї вимоги. Якщо позначити через $X_l = \{x_l^t\}$ множину всіх конфігурацій вектора x_l, через $X_N = \{x_N^s\}$ множину всіх конфігурацій вектора x_l, то $X = \{x^t\} = X_l \times X_N$. Під час скорочення вихідних множин конфігурацій векторів x_l і x_N до допустимих множин $\tilde{X}_l \subseteq X_1, \left|\tilde{X}_l\right| \le \left|X_l\right|$, $\tilde{X}_N \subseteq X_N, \left|\tilde{X}_N\right| \le \left|X_N\right|$, відповідно, отримаємо $\left|\tilde{X}_l \subseteq \tilde{X}_N\right| \le \left|X\right|$.

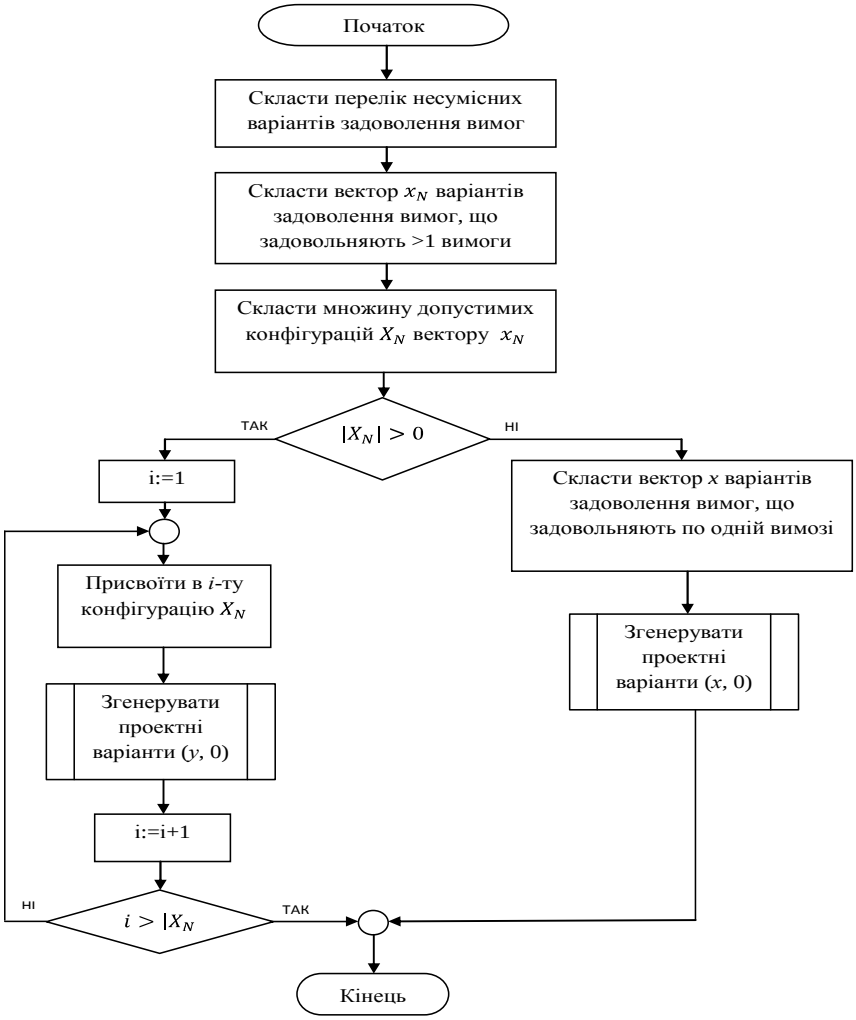


Рис. 3. Евристичний алгоритм генерації проектних варіантів

Приклад роботи евристичного алгоритму наведено на рис. 4. Спочатку формуються два вектори x_l і x_N. Потім формується множина взаємовиключних ВЗВ, що містяться у векторі x_N. З його врахуванням формується множина допустимих (не містять взаємовиключних ВЗВ) конфігурацій вектора $x_n(\tilde{X}_N \subseteq X_N)$.

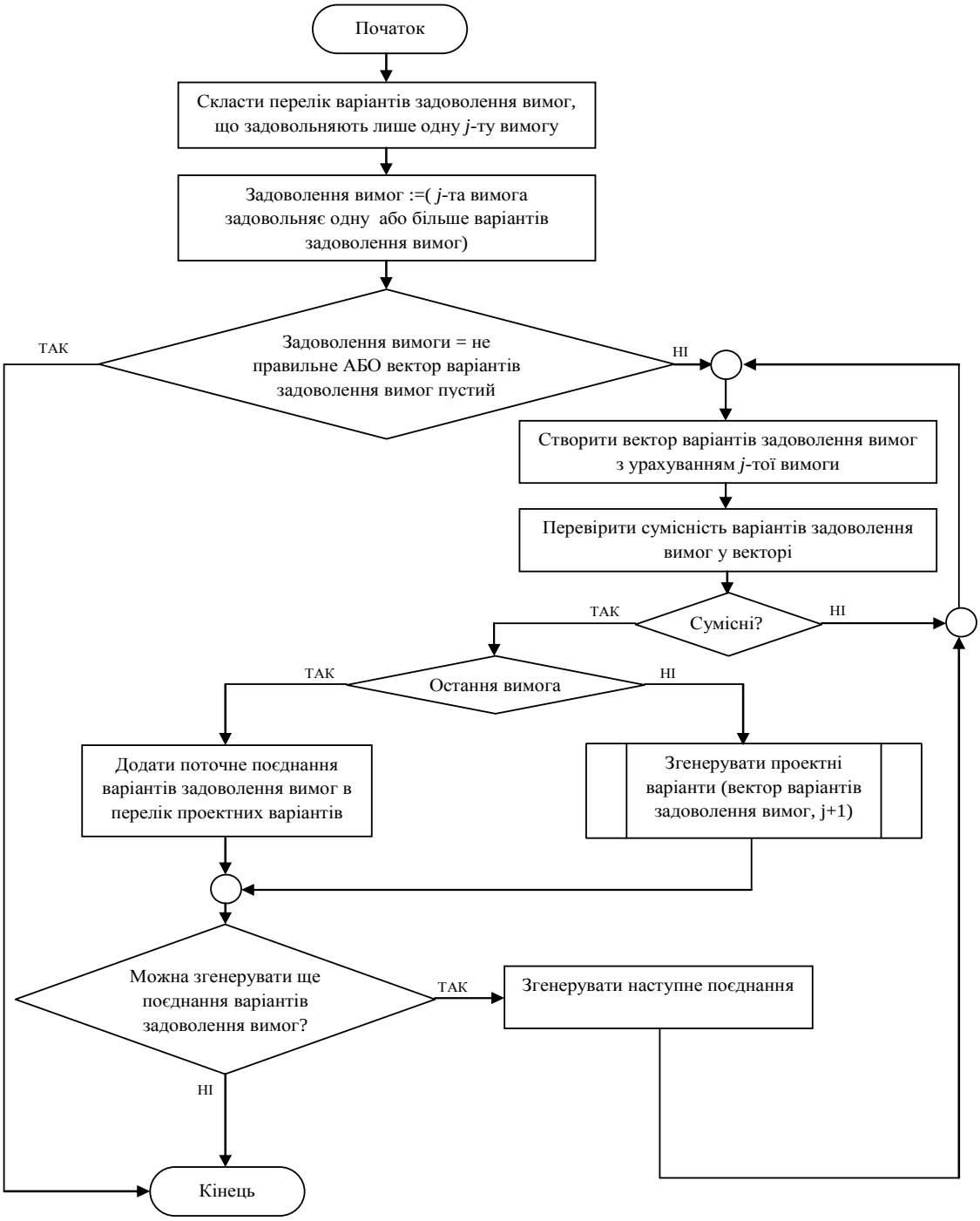


Рис. 4. Процедура генерації проектних варіантів

Для кожної конфігурації $x_N^t \in \tilde{X}_N$ викликається процедура «деформування» вектора *x*. У ній для кожної вимоги (починаючи з 1-го і закінчуючи *J*-им) формується вектор ВЗВ, що задовольняють тільки цю вимогу. Потім формується множина допустимих (що не містять взаємовиключних ВЗВ) конфігурацій такого вектора. Якщо досягнута остання J-та вимога, то поточна конфігурація вектора *x* додається у множину $\tilde{X}_N$. Якщо дотримується умова задоволення *j*-ї вимоги системи, то здійснюється перехід до наступної вимоги (*j+1*) і викликається ця ж процедура «деформування» з поточною конфігурацією частини вектора *x*.

Порівняння продуктивності двох розроблених алгоритмів показало середньостатистичну перевагу в п'ять-шість разів продуктивності евристичного алгоритму над алгоритмом простого перебору [4].

Таким чином, можна стверджувати про універсальність цього методу залежно від поставленої мети. В нашому випадку розроблений метод покладено в основу технології інформаційної підтримки процесів концептуального проектування складних технічних систем літака. Експериментальна апробація довела її працездатність та обгрунтувала показники підвищення продуктивності процесу концептуального проектування.

Висновки і пропозиції. Вдосконалення процесів концептуального проектування можна проводити декількома напрямами, починаючи від залучення висококваліфікованих кадрів з відповідною заробітною платою до розроблення та впровадження спеціального інструментарію (програмного забезпечення), що, у свою чергу, також коштовне. Автори статті вибрали «свій напрям» і намагаються вдосконалити процеси концептуального проектування за рахунок використання вже існуючих інформаційних технологій та автоматизованих систем із залученням відомих математичних теорій і методів. Розроблена модель генерації проектних варіантів автоматизує один із головних етапів концептуального проектування та дозволяє оптимізувати завдання вибору проектних варіантів і знизити трудомісткість цього процесу.

Список використаних джерел

1. *Лесин В. В.* Основы методов оптимизации / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – М. : Изд-во МАИ, 1998. – 344 с.

2. *Никаноров С. П.* Метод концептуального проектирования систем организационного управления и его применение [Электронный ресурс] / С. П. Никаноров. – Режим доступа : http://www.situation.ru/app/j_art_960.htm.

3. *Воронин А. А.* Математические модели организаций : учебное пособие / А. А. Воронин, М. В. Губко, С. П. Мишин и др. – М. : ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.

4. *Вертакова Ю. В.* Управленческие решения, разработка и выбор : учебное пособие / Ю. В. Вертакова, И. А. Козьева, Э. Н. Кузьбожев ; под общ. ред. Э. Н. Кузьбожева. – М. : КНОРУС, 2005. – 352 с.

УДК 536.21

М.Г. Олененко, аспирант
И.Г. Величко, канд. физ.-мат. наук
Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О СТАЦИОНАРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛА В МНОГОСЛОЙНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЕ

Показано решение двумерной задачи о стационарном распределении тепла в теле, состоящем из произвольного конечного числа анизотропных спаянных параллельных полос. В каждом слое одна из осей анизотропии параллельна границам полос, а вторая перпендикулярна. На верхней и нижней границах тела задана температура. На границе контакта двух слоев происходит идеальный тепловой контакт. Решение получено в виде интегралов Фурье. Приведены примеры расчета, показывающие влияние коэффициентов анизотропии и граничных условий на распределение температуры в двухслойной пластине.

Ключевые слова: *многослойная анизотропная пластина, температура, поток, преобразование Фурье.*

Показано розв'язок двовимірної задачі про стаціонарний розподіл тепла в тілі, що складається з довільного скінченного числа анізотропних спаяних паралельних смуг. У кожному шарі одна із осей анізотропії паралельна границям смуг, а друга перпендикулярна. На верхній та нижній границях тіла задано температуру. На границі контакту двох шарів відбувається ідеальний тепловий контакт. Розв'язок отримано у вигляді інтегралів Фур'є. Наведено приклади розрахунку, що демонструють вплив коефіцієнтів анізотропії та граничних умов на розподіл температури у двошаровій пластині.

Ключові слова: *багатошарова анізотропна пластина, температура, потік, перетворення Фур'є.*

A two-dimensional problem of the stationary distribution of heat in a body, which consists of random number of welded anisotropic parallel stripes, is solved in the article. In each layer one of the anisotropic axis is parallel to the border of the plates, another is perpendicular. There is a given temperature on the top and bottom borders of the body. At the border of a

touch of two layers there is an ideal thermal contact. The solution has been got in the form of Foureu's integral. An example of calculation for the double-layer plate is given. These examples are demonstrate the influence of anisotropic coefficients and border conditions to the distribution of heat in double-layer plate.

Key words: *multilayer anisotropic plate, temperature, stream, Foureu's transformation.*

Постановка проблемы. В инженерной практике часто используются элементы конструкций, состоящих их разнородных материалов. Использование слоистых конструкций позволяет существенно улучшить эксплуатационные качества объектов. Если некоторый узел попадает под действие интенсивных тепловых полей, то исследование температуры в его элементах является необходимым условием расчета на прочность всей конструкции. Существующие аналитические методы ориентированы в основном на расчет изотропных материалов. Поскольку на практике используются и анизотропные материалы, то разработка способов расчета тепловых полей в многослойных анизотропных средах является актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. Задачам, касающимся однородных изотропных тел, посвящены классические монографии таких авторов, как: В.З. Партон, П.И. Перлин, А.Д. Коваленко, В. Новацкий [1-3]. Для многослойных тел основные трудности связаны с удовлетворением условий сопряжения слоев. Исследованию существенно многослойных изотропных сред посвящены работы [4; 5]. В известных авторам работах для исследования задач теплопроводности многослойных анизотропных сред применялись асимптотические методы [6; 7] и метод конечных элементов [7; 8].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Для расчета стационарных температурных полей в слоистых анизотропных средах применяются либо численные, либо асимптотические методы. Вопрос о построении аналитических выражений для температуры в существенно многослойных анизотропных телах остается открытым.

Цели статьи. Предложить аналитическое (в виде интегралов Фурье) решение задачи о стационарном распределении тепла в многослойной анизотропной пластине.

Изложение основного материала. Рассмотрим анизотропную пластину, состоящую из n бесконечных параллельных полос, материал каждой из которых является анизотропным, причем одна из осей анизотропии параллельна границам полос, а вторая перпендикулярна. Полосы будем нумеровать сверху вниз, начиная с единицы. На границе контакта двух слоев происходит идеальный тепловой контакт, т. е. выполняется равенство температур и равенство потоков. В каждом слое введем локальную прямоугольную декартову систему координат, как показано на рис. 1.

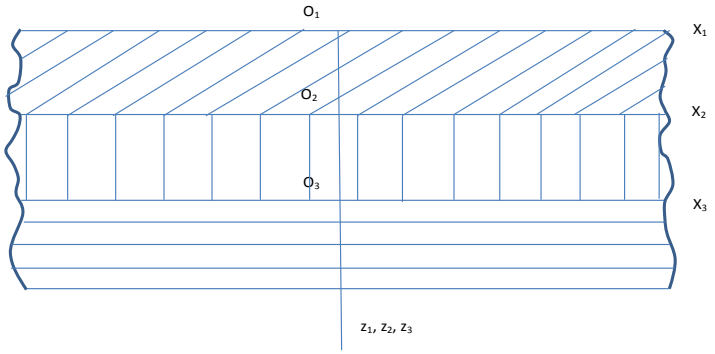


Рис. 1. Трехслойная пластина

Каждая полоса с номером i характеризуется высотой h_i, коэффициентами теплопроводности K_{ix}, K_{iz} и коэффициентами температуропроводности λ_{ix}, λ_{iz}, которые связаны между собой соотношениями [2]: $\lambda_{im} = -\dfrac{K_{im}}{c_p \rho}$, $m = x, z$, где c_p – изобарная удельная теплоемкость. На верхней и нижней границах задана температура. Требуется определить температуру в произвольной точке пластины.

Распределение температур в i-той полосе будем описывать функцией $T_i(x,z)$. Математически решение задачи сводится к решению системы уравнений:

$$\lambda_{ix}\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2}+\lambda_{iz}\frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2}=0,\ i=\overline{1,n} \tag{1}$$

при следующих условиях сопряжения:

$$T_i(x,h_i)=T_{i+1}(x,0), \tag{2.1}$$

$$K_{iz}\frac{\partial T_i}{\partial z}(x,h_i)=K_{(i+1)z}\frac{\partial T_{i+1}}{\partial z}(x,0),\ i=1,...,n-1. \tag{2.2}$$

Граничные условия задачи:

$$T_1(x,0)=f(x),\ T_n(x,h_n)=f_{n+1}(x),$$

где $f(x)$ и $f_{n+1}(x)$– заданные функции. Для каждой полосы обозначим через η_i функцию, которая является трансформантой температуры на верхней границе i-того слоя. В силу того, что на общей границе температуры совпадают, получим, что:

$$\eta_i(\zeta)=\overline{T_i}(\zeta,0); \tag{3}$$

$$\overline{T_i}(\zeta,h_i)=\eta_{i+1}(\zeta). \tag{4}$$

Задача решается с помощью интегрального преобразования Фурье по переменной x. Предполагается, что все функции, входящие в уравнения, удовлетворяют условиям существования преобразования [9]. В пространстве трансформант уравнение (1) принимает вид:

$$-\tau_i^2 p^2\overline{T_i}(\zeta,z)+\overline{T_i}''(\zeta,z)=0, \tag{5}$$

где штрих означает дифференцирование по переменной z, а $p=|\zeta|$, ζ – параметр интегрального преобразования, $\tau_i^2=\frac{\lambda_{ix}}{\lambda_{iz}}=\frac{K_{ix}}{c_p\rho}:\frac{K_{iz}}{c_p\rho}=\frac{K_{ix}}{K_{iz}}$, $\tau_i>0$.

Введем фиктивный слой с номером $n+1$, тогда

$$\bar{f}_{n+1}(\zeta)=\overline{T_n}(\zeta,h_n)=\overline{T_{n+1}}(\zeta,0)=\eta_{n+1}. \tag{6}$$

Общее решение в i-том слое ($i=\overline{1,n}$) можно записать в виде:

$$\overline{T_i}(\zeta,h_i)=\frac{1}{S_i}\left[\eta_i sh\tau_i p(h_i-z)+\eta_{i+1}sh\tau_i pz\right]. \tag{7}$$

Здесь и далее $S_i=sh(\tau_i p h_i)$, $C_i=ch(\tau_i p h_i)$. Из условия равенства потоков (2.2) выразим η_{i+1} через η_i и η_{i+2}:

$$\eta_{i+1}=\frac{\eta_{i+2}-\frac{K_{iz}\tau_i S_{i+1}}{S_i K_{(i+1)z}\tau_{i+1}}\eta_i}{\frac{K_{iz}\tau_i S_{i+1}}{S_i K_{(i+1)z}\tau_{i+1}}C_i+C_{i+1}}=\frac{\eta_{i+2}S_i K_{(i+1)z}\tau_{i+1}-\eta_i K_{iz}\tau_i S_{i+1}}{K_{iz}\tau_i S_{i+1}C_i+S_i K_{(i+1)z}\tau_{i+1}C_{i+1}}. \tag{8}$$

Записав эти соотношения для $i=\overline{2,n}$ с учетом того, что величины η_1 и η_{n+1} известны из граничных условий, получим линейную алгебраическую систему относительно η_i. После решения полученной системы восстанавливаем по формуле (7) трансформанты температуры в требуемом слое. Выполняя обратное преобразование Фурье методом Файлона, получаем решение поставленной задачи.

Рассмотрим пластину, состоящую из двух слоев, высота каждого из которых будет составлять $2a$, где a – характерный линейный параметр. Обозначив через K характерный коэффициент теплопроводности, построим графики распределения температур в первом и втором слоях при следующих коэффициентах теплопроводности слоев (табл.).

Таблица

Коэффициенты теплопроводности для двухслойной пластины

	K_{1x}	K_{1z}	K_{2x}	K_{2z}
a	K	$3K$	K	$3K$
b	$3K$	K	$3K$	K
c	K	$3K$	$3K$	K
d	$3K$	K	K	$3K$

В том случае, когда температура на верхней и нижней границах описывается формулой:

$$f_1(x) = f_3(x) = T_0 e^{-\frac{x^2}{a^2}}$$

получим следующее распределение температур в слоях по глубине в сечении $x = 0$ (рис. 2). По оси абсцисс откладывается величина $\frac{T}{T_0}$.

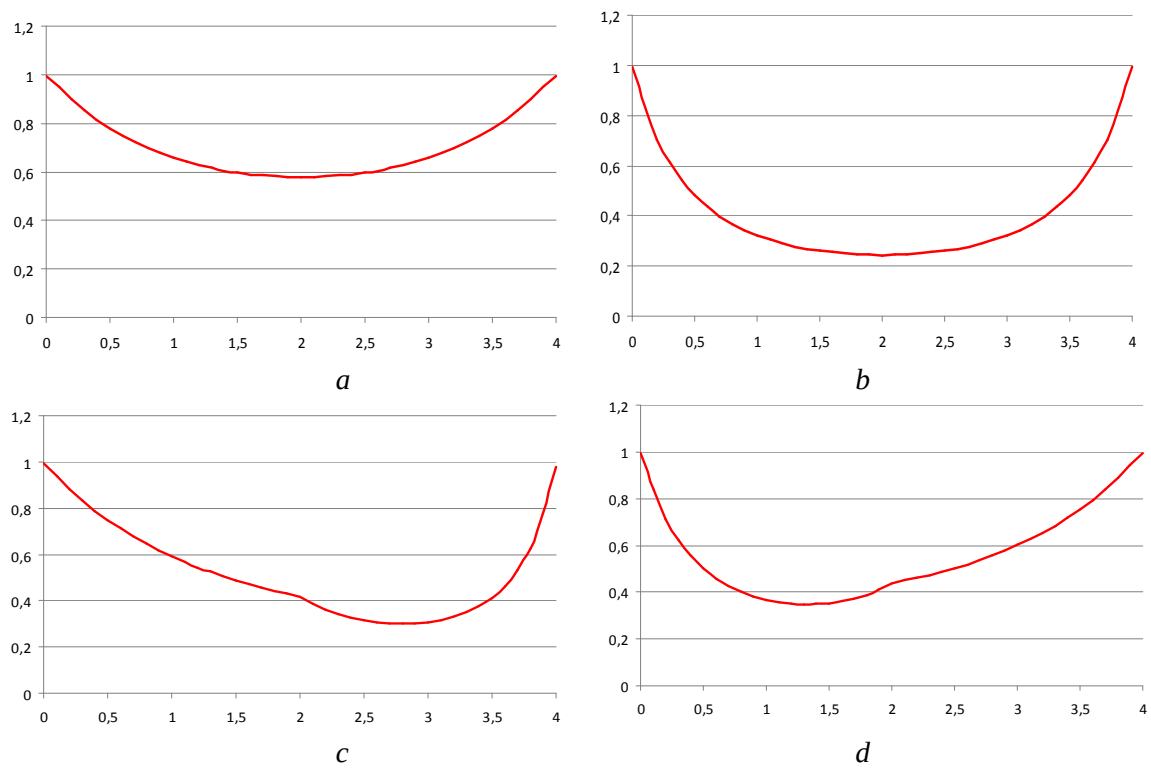


Рис. 2. Распределение температуры по глубине пластины в сечении $x = 0$

Заметим, что в случае, когда пластина не однородна (случаи *c*, *d*), графики не симметричны и имеют точки излома на границе слоев.

Рассмотрим ту же задачу, но при условии, что температура на нижней границе будет задаваться формулой:

$$f_3(x) = T_0 e^{-\frac{2x^2}{a^2}}.$$

Полученные рисунки (рис. 3, 4) соответствуют тем же значениям параметров, что и выше.

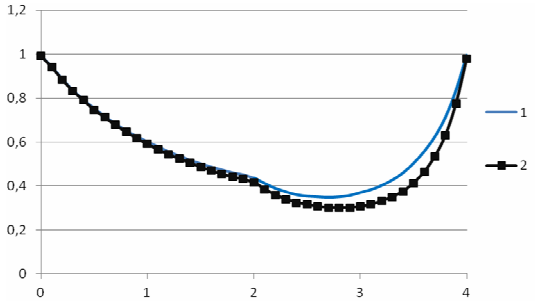


Рис. 3. Распределение температуры по глубине в двухслойной анизотропной пластине в сечении x = 0 при разных граничных условиях (случай c): 1 – условия на границах совпадают, 2 – условия на границах различны

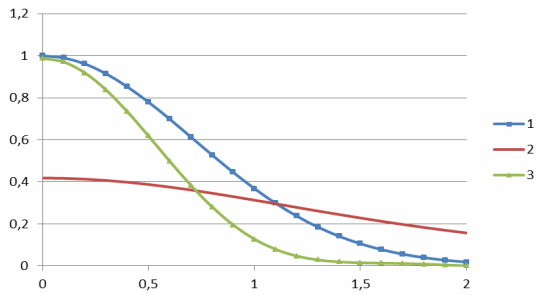


Рис. 4. Распределение температуры в двухслойной анизотропной пластине на границах слоев: 1 – температура на верхней границе, 2 – температура в середине слоя, 3 – температура на нижней границе

Полученные результаты позволяют провести анализ влияния коэффициентов анизотропии на распределение температуры в теле, что планируется сделать в следующих публикациях.

Выводы и предложения. В данной статье была рассмотрена двумерная задача о стационарном распределении тепла в анизотропной пластине, состоящей из произвольного конечного числа спаянных неограниченных, т. е. параллельных полос. Для вычисления температуры в каждом из слоев пластины получены общие формулы в виде интегралов Фурье. Приведены примеры расчета, показывающие влияние изменения коэффициентов анизотропии и граничных условий на распределение температуры в двухслойной пластине. При исследовании системы из n слоев задача сводится к решению $n-1$ линейных уравнений. Эффективность предложенного метода можно повысить, если применить аналог метода функций податливости [4], который позволит вместо решения системы линейных уравнений для определения вспомогательных функций пользоваться рекуррентными соотношениями. В перспективе планируется провести детальный анализ зависимости тепловых полей от геометрических и физических характеристик слоев пластины.

Список использованных источников

1. *Партон В. З.* Методы математической теории упругости / В. Партон, П. Перлин. – М. : Наука, 1981. – 688 с.
2. *Коваленко А. Д.* Основы термоупругости / А. Д. Коваленко. – К. : Наукова думка, 1970. – 309 с.
3. *Новацкий В.* Динамические задачи термоупругости / В. Новацкий. – М. : Мир, 1970. – 256 с.
4. *Величко И. Г.* Стационарная задача о распределении температуры в многофазной пластинке / И. Г. Величко, И. Г. Ткаченко // Вісник ЗДУ. Фізико-математичні науки. Біологічні науки. – 2004. – № 1. – С. 16-20.
5. *Новые* направления получения аналитических решений краевых задач тепломассопереноса и термоупругости для многослойных конструкций [Электронный ресурс] / В. А. Кудинов, Б. В. Аверин, А. Б. Ремезенцев и др. – Режим доступа : http://relay.itmo.by/jepter/MIF4/volume3/230.PDF.
6. *Агаловян Л. А.* Смешанные краевые задачи теории упругости слоистых тонких тел переменной толщины, состоящих из анизотропных неоднородных материалов / Л. А. Агаловян // ПММ. – 2009. – Т. 73. Вып. 5. – С. 849-857.
7. *Немировский Ю. В.* Асимптотический анализ решения задачи нестационарной теплопроводности слоистых анизотропных неоднородных пластин при граничных условиях второго рода на лицевых поверхностях / Ю. В. Немировский, А. П. Янковский // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2007. – Т. 50, № 2. – С.160-175.
8. *Куликов Г. М.* Исследование стационарной теплопроводности в телах вращения из слоистых композитов / Г. М. Куликов, И. Е. Карева // Вестник ТГТУ. – 2002. –Т. 8, № 1. – С. 31-40.
9. *Снеддон И.* Преобразование Фурье / И. Снеддон. – М. : Издательство иностранной литературы, 1955. – 668 с.

РОЗДІЛ ІІ. МЕХАНОХІМІЯ

УДК 678.643

А. А. Королев, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В РЕАКЦИИ С КИСЛОРОДОМ ОКСИРАНОВОГО КОЛЬЦА

Связанный азот входит в состав как органической, так и неорганической материи. Органические азотсодержащие соединения в основном используются в качестве удобрений и являются основой многих промышленных синтезов. В работе исследована реакционная способность ряда азотсодержащих органических соединений с помощью метода дифференциально-термического анализа.

***Ключевые слова**: амины, оксирановое кольцо, дифференциально-термический анализ.*

Пов'язаний азот входить до складу як органічної, так і неорганічної матерії. Органічні азотвмісні сполуки в основному використовуються як добрива і є основою багатьох промислових синтезів. У роботі досліджена реакційна здатність ряду азотвмісних органічних сполук за допомогою методу диференціально-термічного аналізу.

***Ключові слова**: аміни, оксиранове кільце, диференційно-термічний аналіз.*

The constrained nitrogen enters in the complement of both organic and inorganic matter. The organic nitrogenated compounds are mainly used as fertilizers and are basis of many industrial syntheses. Reactionary ability of row of the nitrogenated organic compounds is in-process investigational by means of method of differentially-thermal analysis.

***Key words**: amines, oxirane ring, differentially-thermal analysis.*

Постановка проблемы. Органические азотсодержащие соединения играют важную роль как в промышленных процессах синтеза продуктов и полимеров, так и в биохимии белков, фосфолипидов, ферментов и других биологически важных веществ.

В промышленности реакции аминогруппы используются для получения лекарственных веществ (анальгетики, сульфаниламиды), красителей разных типов, полимеров (полиамиды, полиуретаны), средств защиты растений и др.

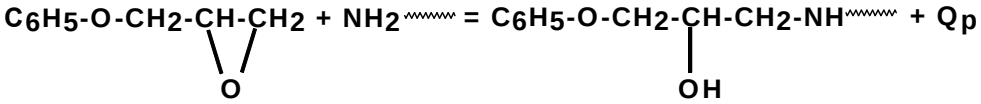
В настоящее время активно проводятся работы по модификации лакокрасочных покрытий и полимерных конструкционных материалов с целью улучшения физико-механических характеристик. Для модификации часто используются различные композиции с аминами для ускорения процесса отверждения, ингибирования коррозии, увеличения термостойкости и других целей. Применяемые в промышленности эпоксидные лакокрасочные материалы обеспечивают покрытия с целым комплексом ценных свойств: высокие физико-механические показатели, хорошая адгезия ко многим поверхностям (металлы, бетон, пластмассы, дерево), стойкость к действию воды, щелочей, солей, радиации, низкая усадка и малая пористость. К их недостаткам стоит отнести их невысокую термостойкость и кислотостойкость. Кроме того, в процессе эксплуатации, в той или иной степени, теряются необходимые эксплуатационные и защитные свойства [1].

Активность аминогруппы влияет на кинетические параметры процесса аминного отверждения эпоксидов для получения защитных покрытий на металлах, бетоне, пластмассе, дереве [2], а также при использовании аминов в синтезе ингибиторов коррозии [3].

Цель работы. Целью работы является сравнительное изучение методом дифференциально-термического анализа свойств ряда промышленных органических аминосоединений с точки зрения их химической активности в реакциях раскрытия оксиранового кольца.

Изложение основного материала. Для оксиранового кольца характерна большая реакционная способность. Это объясняется большим напряжением цикла в результате искажения валентных углов при замыкании цикла и наличием электроотрицательного атома кислорода, что усиливает неустойчивость цикла [4]. Потому оксирановое кольцо быстро реагирует с аминогруппой с раскрытием цикла и выделением тепла. Оценка активности аминов проводилась по скорости возростания температуры в реакционной среде.

Модельное вещество – фенилглицидиловый эфир, содержащий оксиэтиленовую группу. Взаимодействие с аминами происходит по реакции:



Методом дифференциально-термического анализа [5] при скорости нагревания 3 ^{0}К/мин оценивали разность температур в нулевой и рабочей ячейке. По термограммам находили начальную температуру реакции по началу возрастания температуры в рабочей ячейке – $T_н$, максимальную температуру – $T_п$ (температура пика) и температуру окончания реакции – $T_к$.

Мольные соотношения фенилглицидилового эфира с аминами составляли 1:0,5. По площади под кривыми рассчитаны тепловые эффекты реакции – $Q_р$, кДж/моль. Для сравнительной оценки исследуемых веществ использовали условный коэффициент, который рассчитывали по формуле:

$$K_c = \frac{1}{T_н \cdot T_п} \cdot 10^6,$$

где $T_н$ – температура начала реакции, К; $T_п$ – температура пика реакции, К.

В таблице представлены экспериментальные данные по алифатическим и ароматическим аминопроизводным.

Таблица

Температурные и расчетные данные кривых ДТА

№ п/п	Формула	Обозначение	$T_н$, К	$T_п$, К	$T_к$, К	$Q_р$, кДж/моль	K_c
1	$C_4H_9NH_2$	БА	328	363	393	94	8,4
2	$(C_2H_5)_2NH$	ДЭА	358	368	385	75	7,6
3	$(CH_3)_2NH \cdot HCl$	ДМА	381	397	415	116	6,6
4	$NH_2(CH_2)_6NH_2$	ГМДА	313	338	373	100	9,5
5	$HOOC(CH_2)_4COOH \cdot NH_2(CH_2)_6NH_2$	АГ	399	418	461	114	6,0
6	$HN=C(NH_2)_2 \cdot HCl$	ГД	404	410	446	95	6,0
7	$NH_2N=C(NH_2)_2 \cdot H_2CO_3$	АГД	421	431	461	98	5,5
8	$(C_6H_5NH)_2C=NH$	ДГД	382	418	441	113	6,3
9	$HN=C(NH_2)NHCN$	ДЦДА	433	453	473	108	5,3
10	NH_2-CO-NH_2	М	423	435	448	100	5,4
11	NH_2-CS-NH_2	ТМ	393	419/437	453	96	5,6
12	$C_6H_5NH_2$	АН	383	407	423	110	6,4
13	o-$CH_3C_6H_4NH_2$	о-Т	389	418	450	111	6,2
14	п-$CH_3C_6H_4NH_2$	п-Т	381	400	425	96	6,6
15	o-$NO_2C_6H_4NH_2$	о-НА	471	489	503	85	4,3
16	п-$NO_2C_6H_4NH_2$	п-НА	440	464	471	86	4,9
17	$C_6H_7NH_2(\alpha)$	НАФ	389	421	449	106	6,1
18	o-$C_6H_4(NH_2)_2$	ФДА	370	398	419	110	6,8
19	$H_2NC_6H_4CH_2$-$C_6H_4NH_2(4,4')$	ДМ	368	395	420	118	6,9
20	C_5H_5N	ПР	379	394	415	95	6,7
21	$C_5H_{10}NH$	ПП	323	339	359	72	9,1

Первичные амины предельных углеводородов – бутиламин (БА) и гексаметилендиамин (ГМДА) имеют наиболее низкие температуры начала реакции 313 К, 328 К и наиболее высокий K_c. У диэтиламина (ДЭА) и особенно у диметиламина (ДМА) за счет стерических затруднений повышается начальная температура реакции и снижается активность. ГМДА используется в качестве отвердителя жидких эпоксидных смол и в со-

ставе композиций ингибиторов коррозии. Известны также ингибирующие комплексы на основе гексаметилентетрамина [6].

Весьма перспективно использование ГМДА в виде солей с карбоновыми кислотами. Соль АГ – это соль адипиновой кислоты и ГМДА ($T_{пл}$ = 465÷466 К), белый кристаллический чешуйчатый порошок, устойчивый при длительном хранении, не токсичен. Используется в промышленности в качестве сырья для получения полиамидного волокна анид. Адипиновая кислота применяется в лакокрасочном производстве в качестве отвердителя порошковых эпоксидных красок [7], также в производстве пластификаторов и смазок.

Возможность использования соли АГ в рецептурах порошковых эпоксидных красок представляет научный и практический интерес. Адипиновая кислота начинает реакцию с эпоксидной группой при 416 К, а соль АГ – при 399 К. Кроме того, адипиновая кислота реагирует гораздо медленнее, реакция заканчивается при 487 К [8], а реакция с солью АГ заканчивается при 461 К, что на 27 К ниже по сравнению с адипиновой кислотой. Это позволяет сократить время отверждения покрытия и уменьшить затраты тепла. Кроме того, наличие ГМДА в соли АГ придаст композиции противокоррозионные свойства. Также для порошковых красок соль АГ, как латентный отвердитель, можно использовать в порошковых пленках и различных эпоксидных компаундах.

Сравнив данные ДТА соли АГ и дициандиамида (ДЦДА), наиболее широко применяемого для отверждения порошковых эпоксидных красок [7], видно, что $T_н$ в реакции с ДЦДА на 34 К выше, чем у соли АГ, соответственно $T_п$ и $T_к$ также выше. Использование адипиновой кислоты в виде соли АГ и себациновой кислоты (соль СГ) позволит снизить хрупкость эпоксидных композиций, повысить их эластичность.

Из производных алифатических аминов достаточно высокую противокоррозионную активность проявили также фосфолипиды – фосфотидилэтаноламины (кефалин) и фосфотидилхолины (лецитин). Они имеют активные аминные группировки – $-CH_2CH_2NH_2$ и $-CH_2CH_2N(CH_3)_2$. Показано, что эти группировки способствуют созданию активного центра в молекуле фосфолипида [9]. Весьма возможно, что они могут быть активны и в реакциях с оксирановой группировкой.

Группу гуанидинов (6-9) – гуанидин (ГД) и его производные аминогуанидин (АГД), N,N' – дифенилгуанидин (ДГД) и дициандиамид-циангуанидин (ДЦДА) можно разделить по активности на две группы: первая – ГД и ДГД, вторая – АГД и ДЦДА. Если сам ГД имеет $T_п$ = 404 К и K_c = 6,0, то диарилпроизводное (ДГД) снижает температуру начала реакции до 382 К и повышает активность до 6,3. Во второй группе замена водорода иминогруппы ГД на NH_2 (АГД) приводит к усилению внутреннего сопряжения и повышения $T_н$ до 421 К (на 17 К) и снижению K_c до 5,5. Еще сильнее влияет на активность гуанидина введение в молекулу цианогруппы (ГМДА), это приводит к снижению K_c до 5,3 и повышению $T_н$ до 433 К.

Гуанидины являются ингибиторами коррозии металлов и используются в составе различных ингибиторных композиций [3]. Применение их в качестве отвердителей эпоксидных композиций позволит повысить противокоррозионные свойства последних.

Еще два представителя амидов – мочевина (М) и тиомочевина (ТМ) показали весьма невысокую активность, K_c = 5,4 и 5,6 соответственно. Тиомочевина ($T_н$ = 393 К) имеет длинную растянутую термограмму до $T_к$ = 453 К с двумя небольшими максимумами. Тиомочевина может вступать в реакцию в двух таутомерных формах и этим можно объяснить наличие двух пиков.

Ароматические амины относятся к числу традиционных отвердителей эпоксидных олигомеров. Выпуск большого числа промышленных диаминов, высокие прочностные и теплофизические характеристики покрытий в сочетании с высокими защитными свойствами обусловливают их широкое промышленное применение. Используются

ароматические амины в лакокрасочной промышленности [10], производстве пластических масс, стеклопластиков, компаундов и клеев.

В таблице показана химическая активность ароматических моно- (12-17) и диаминов (18,19).

Анилин (АН) по сравнению с БА гораздо менее активен, $T_н$ повышается на 55 К, и, соответственно, снижается K_c. Это связано с делокализацией неподеленной пары электронов атома азота в бензольном кольце и снижением основности анилина. Введение в ароматическое кольцо группировок -CH_3 (толуидины), -ОН – аминофенолы мало влияет на активность ароматических аминов ($T_н$ = 380÷389 К). Аминогруппа в α-аминонафталине (НАФ) проявляет активность аналогичную толуидинам (о-Т и п-Т).

Некоторые моноамины входят в состав ингибиторов коррозии и могут использоваться для модификации защитных покрытий. На активность аминной группы в ароматическом кольце отрицательно влияет нитрогруппа (о-НА и п-НА) сильно увеличивая начальную температуру, особенно для о-нитроанилина ($T_н$=471 К). Они имеют также высокие конечные температуры реакции (470÷500 К) и наиболее низкий K_c в исследуемой группе аминов.

Активность ароматических диаминов выше активности моноаминов (K_c 6,8 и 6,9). Они начинают реакцию на 10÷20 К ранее моноаминов и имеют высокие значения K_c. В качестве отвердителей используются диамины-фенилендиамины (ФДА) и 4,4'диаминодифенилметан (ДМ) [2; 10].

В опубликованной ранее работе [11] исследовалась активность алифатических и ароматических аминокислот. Аминогруппа в алифатических кислотах малоактивна ($T_н$=400÷440 К). Аминогруппы в о- и п-аминобензойных кислотах наоборот достаточно активны ($T_н$ 378 К и 341 К), причем в о-аминобензойной кислоте активность аминогруппы ($T_н$=341 К) гораздо выше, чем у анилина ($T_н$=381 К). Их условный коэффициенты K_c составляют: 6,8 для п-аминобензойной кислоты и 8,2 для о-аминобензойной кислоты.

Высокую активность проявляют пиперидины (ПП) – гидрированный аналог пиридина (ПР). Большая активность пиперидина объясняется тем, что его молекула плоской структуры приобретает конформацию «кресло», и атом водорода, связанный с атомом азота, становится аксиальным. В связи с этим стерические эффекты незначительны и доступ реагентов к молекуле пиперидина менее затруднен, чем в случае, например, диэтиламина [4]. Пиперидин является сильным основанием, вступает в различные реакции как вторичный амин. Он может использоваться в составе композиций ингибиторов коррозии, также инициировать процессы отверждения в эпоксидных смолах.

Выводы и предложения. Методом дифференциально-термического анализа в реакции с кислородом оксиранового кольца изучена активность ряда алифатических и ароматических аминопроизводных.

Исходя из анализа экспериментальных данных, можно сделать вывод, что практический интерес для дальнейших исследований представляют: алифатические амины (ГМДА и БА) и пиперидин. По отношению к ним, введение в молекулу амина двойной связи или ароматического кольца вызывает снижение активности на 25-30 %, нитрильной группы (ДЦДА) – на 40 %, нитрогруппы в ароматическом кольце – на 40 %.

Для снижения токсичности и повышения экологической безопасности применения аминов желательно использовать соли аминов с ароматическими и алифатическими кислотами. Соль АГ более активна, чем известный отвердитель порошковых красок – ДЦДА, нетоксична, хорошо хранится, многотоннажный промышленный продукт.

Список использованных источников

1. *Шигорин В. Г.* Направленное модифицирование антикоррозионных эпоксидных композиций / В. Г. Шигорин, Н. И. Фомина, Т. Г. Лапушкина // Защита металлов. – 1992. – Т. 28, № 6. – С. 976-980.

2. *Чернин И. З.* Эпоксидные полименрые и композиции / И. З. Чернин, Ф. М. Смехов, Ю. В. Жердев. – М. : Химия, 1982. – 232 с.

3. *Иванов Е. С.* Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах / Е. С. Иванов. – М. : Металлургия, 1986. – 175 с.

4. *Иванский В. И.* Химия гетероциклических соединений / В. И. Иванский. – М. : Высш. школа, 1978. – 559 с.

5. *Кисингер С. Э.* Дифференциальный термический анализ / С. Э. Кисингер, С. В. Ньюмен. // Аналитическая химия полимеров. – М. : Мир, 1966. –Т. 2. – С. 286-340.

6. *Медовой О. В.* Комплексы на основе гексаметилентетрамина – ингибиторы коррозии для лакокрасочных материалов / О. В. Медовой, С. М. Морозов // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2006. – № 40. – С. 40-41.

7. *Яковлев А. Д.* Поршковые краски / А. Д. Яковлев. – Л. : Химия, 1987. – 216 с.

8. *Пасічніченко І. В.* Активність ряду дикарбонових кислот у реакціях оксиранового кільця / І. В. Пасічніченко, В. Р. Корольова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. – Чернігів : ЧДТУ, 2008. – № 34. – С. 202-204.

9. *Королев А. А.* Состав и противокоррозионные свойства экологически безопасного ингибитора ФЕС / А. А. Королев // Вісник інженерної академії України. – 2012. – № 3-4. – С. 229-232.

10. *Шодэ Л. Г.* Ускоренное отверждение эпоксидных олигомеров ароматическими аминами / Л. Г. Шодэ, Р. Б. Миренский, М. Ф. Сорокин // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1983. – № 5. – С. 36-39.

11. *Корольов О. О.* Активність нітрогенвмісних корбонових кислот у реакціях оксиранового кільця / О. О. Корольов, В. Р. Корольова, О. І. Сиза // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. – Чернігів : ЧДТУ, 2008. – № 36. – С. 115-120.

УДК 620.197.3

Е.С. Бондарь, аспирант
Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, г. Чернигов, Украина

ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА NORFLOXACIN И ETAMSYLATE

Исследованы ингибирующие свойства фармакологических препаратов Norfloxacin и Etamsylate при коррозии малоуглеродистой стали Ст3пс. Достаточно высокая противокоррозионная эффективность выявлена у Norfloxacin: в кислой хлоридной среде Z_m=75,0-86,5 % при 0,5-5,7 г/л; в среде с бактериальной сульфатредукцией Z_m=94 % при 1 г/л. Ингибирующее действие Etamsylate значительно ниже и при биокоррозии составляет только 20 %.

Ключевые слова: *ингибитор, кислотная коррозия, микробная коррозия.*

Досліджені інгібувальні властивості фармакологічних препаратів Norfloxacin та Etamsylate при корозії маловуглецевої сталі Ст3пс. Достатньо високу протикорозійну ефективність виявлено у Norfloxacin: у кислому хлоридному середовищі Z_m=75,0-86,5 % при 0,5-5,7 г/л; у середовищі з бактеріальною сульфатредукцією Z_m= 94 % при 1 г/л. Інгібувальна дія Etamsylate значно нижча і при біокорозії становить лише 20 %.

Ключові слова: *інгібітор, кислотна корозія, мікробна корозія.*

Inhibition properties of drugs Norfloxacin and Etamsylate at corrosion of mild steel St3ps are investigated. High enough anticorrosive efficiency is revealed at Norfloxacin: in acid chloride medium (Z_m=75,0-86,5 at concentration 0,5-5,7 g/l) and in the medium with bacterial sulphatereduction (Z_m=94 % at concentration 1 g/l). Inhibition action of Etasylate much lower and at biocorrosion makes only 20 %.

Key words: *inhibitor, acid corrosion, microbic corrosion.*

Постановка проблемы. Ассортимент эффективных ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали требует обновления в связи с тем, что: значительная часть ингибиторов получена на основе отходов производства, деятельность большинства из которых по экономическим причинам приостановлена; повысились санитарно-гигиенические требования; изменились условия проведения процессов с использованием ингибиторов; в случае ингибиторов биокоррозии – снизилась эффективность в результате адаптации к ним коррозионно-опасных бактерий [1-4]. Создание ингибиторов коррозии возможно путем синтеза новых соединений либо выявлением противокоррозионной активности у известных препаратов, в том числе фармакологических. Наибольшего экономического эффекта мо-

жно достичь при наличии у предлагаемых ингибитора многофункциональных свойств, в том числе способности замедлять коррозию в кислых средах и средах с бактериальной сульфатредукцией.

Анализ последних исследований и публикаций. Перспективность поиска эффективных ингибиторов кислотной коррозии среди фармакологических препаратов показана в работах [5-9]. Высокое ингибирующее действие в кислых средах найдено у пиперацилина натрия (при концентрации $9 \cdot 10^{-4}$ моль/л в 1М HCl защитный эффект составляет 93 %) [5], препаратов Ceftriaxone (в 1М HCl при концентрации 400 ppm Z = 90 %)[6], Rhodanine (Z = 99 % в 0,5 М HCl) [7], Sparfloxacin (Z = 97,5 % в 2,5М HCl при концентрации 12 моль/л). Их выбор объясняется наличием в молекулах действующих веществ атомов кислорода, азота, серы, которые могут быть активными центрами адсорбции на поверхности металла. Преимуществами таких ингибиторов являются высокие санитарно-гигиенические показатели и налаженная технология производства. В тоже время данных по исследованию возможности применения фармакологических препаратов для ингибирования микробной коррозии в доступных нам источниках не обнаружено.

Биокоррозия относится к наиболее распространенным видам коррозии [4]. Более 50 % повреждений подземных металлоконструкций, 15-20 % коррозионных повреждений морских судов инициированы сульфатвосстанавливающими бактериями (СВБ). Свойства ингибировать коррозию и угнетать рост СВБ и другие коррозионно опасные микроорганизмы найдены нами у некоторых фармакологических препаратов, действующие вещества которых представляют собой азотсодержащие гетероциклы, в том числе производные хинолина [10].

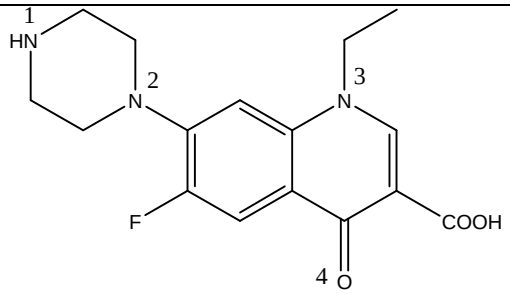
В представленной работе исследовались препараты Norfloxacin (действующее вещество содержит хинолиновый цикл и проявляет антимикробное действие на большинство грамотрицательных и грамположительных микроорганизмов) и Etamsylate (производное диэтиламина и бензолсульфоновой кислоты), производство которых осуществляется в Украине, в том числе ОАО Концерн «Стирол» (г. Горловка), ХФЗ (г. Луганск). При этом известно, что резистентность микроорганизмов к Norfloxacin развивается медленно, что может существенно повысить срок применения препарата без снижения эффективности за счет адаптации к нему микроорганизмов [11].

Формулирование целей статьи. Цель работы – оценить противокоррозионную активность Norfloxacin и Etamsylate в средах с бактериальной сульфатредукцией и кислых хлоридных растворах.

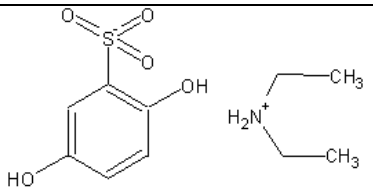
Изложение основного материала исследований. Структурные формулы действующих веществ препаратов Norfloxacin и Etamsylate приведены в табл. 1.

Таблица 1

Структурные формулы молекул действующих веществ исследованных препаратов и их состав

Название препарата	Структурная формула действующего вещества, массовая доля, %	Дополнительные компоненты
1	2	3
Norfloxacin	 75 %	Микрокристаллическая целлюлоза, кроскармелоат натрия, стеарат магния, натриевая соль эфира гликолевой кислоты и крохмала, крохмал кукурузный, шеллак отбеленный, гидроксипропилметил целлюлоза, титана диоксид, краситель желтый закат, воск карнаубский

Окончание табл. 1

1	2	3
Etamsylate	 60 %	Гидрофосфат кальция, метабисульфат натрия, крохмал картофельный, поливинилпирролидон, стеарат кальция

Эффективность веществ как ингибиторов коррозии оценивали гравиметрическим методом на образцах стали Ст3пс (пластинки 23 см^2). Коррозионные среды: кислые хлоридные (0,1М, 1М и 2,7М растворы HCl) и водно-солевая нейтральна (Постгейт «В» [12]), иннокулированная коррозионным микробным сообществом (титр СВБ – 10^7 кл/мл), выделенным из ферросферы корродировавшего газопровода методом накопления на селективной среде [12]. Время испытаний: при кислотной коррозии – 24 часа (293 К), 1 час (313 К; 333 К); при биокоррозии 240 часов (301К). Концентрация ингибиторов 0,5-5,7 г/л.

По результатам весовых измерений рассчитывали коэффициент торможения γ_m коррозии ингибиторами ($\gamma_m = K_m / K_m^{/}$, где K_m, $K_m^{/}$ – скорость коррозии без и в присутствии ингибитора) и защитный эффект Z_m.

Титр сульфатвосстанавливающих бактерий в исследованных растворах после коррозионных испытаний образцов стали определяли методом предельных 10-кратных разведений [12]. Для определения бактериального состава биопленки бактерии с металлической поверхности снимали с помощью ультразвука частотой 25 кГц на приборе УЗМ-003/н.

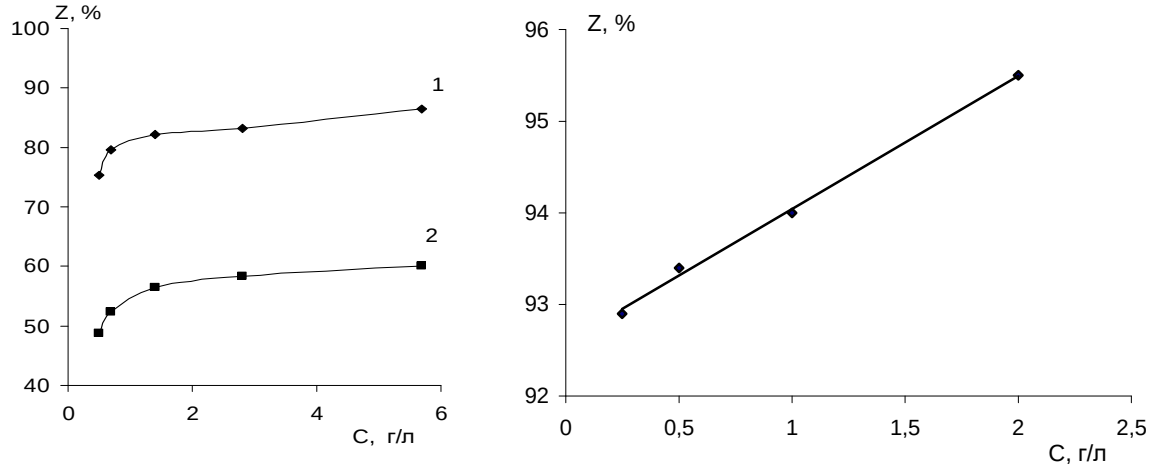
Биоцидные свойства действующего вещества препаратов изучали методом диффузии в агар и оценивали по диаметру зоны подавления роста микроорганизмов [13]. В качестве тест-культур использовано выделенные нами накопительные культуры СВБ (на среде Постгейта «В», титр 10^7 кл/мл), ДНБ (на среде Гильтая, титр 10^5 кл/мл) и штамм СВБ Киев-10, выделенный сотрудниками отдела общей и почвенной микробиологии Института микробиологии и вирусологии НАН Украины (г. Киев).

Для визуальной оценки состояния образов после испытаний в среде с бактериальной сульфатредукцией фотографировали поверхность через бинокулярный микроскоп МБС-10 (увеличение ×25).

Квантово-механические расчеты проводили с помощью программы Hyperchem 7.0, метод PM3.

Статистическую обработку результатов исследований проводили для уровня вероятности 0,95, число измерений n = 5.

Полученные экспериментальные данные приведены на рис. 1-3 и в табл. 2-4. Установлено, что защитный эффект Norfloxacin в кислой хлоридной среде выше, чем у Etamsylate, на 12,9-26,9 % и при увеличении концентрации с 0,5 до 5,7 г/л возрастает с 75,3 до 86,5 % (рис. 1, *а*).



а *б*

Рис. 1. Графики зависимости защитного эффекта от концентрации ингибитора: а – Norfloxacin (1) и Etamsylate (2) при коррозии стали Ст3пс в 1М HCl; б – Norfloxacin при коррозии стали Ст3пс в среде с бактериальной сульфатредукцией

Влияние на защитные свойства температуры и pH коррозионной среды представлено в табл. 2. При повышении температуры с 293 до 333 К защитный эффект *Norfloxacin* и *Etamsylate* изменяется неоднозначно. Повышение ингибирующего действия препаратов при 333 К, вероятно, объясняется увеличением вклада хемосорбции при взаимодействии молекул с поверхностью металла.

Таблица 2

Ингибирующее действие Norfloxacin и Etamsylate (1,5 г/л) при коррозии стали Ст3пс в кислой хлоридной среде

C (HCl), моль/л	τ, час	T, K	*Norfloxacin*		*Etamsylate*	
			γ_m	Z_m,%	γ_m	Z_m,%
0,1	24	293	3,3	70,0	2,7	62,9
1,0	24	293	5,6	82,1	2,3	56,5
2,7	24	293	2,0	50,0	1,3	23,1
1,0	1	313	2,0	50,0	1,3	23,1
1,0	1	333	2,5	60,0	3,1	67,8

Повышение кислотности коррозионной среды снижает защитный эффект *Etamsylate*. Максимальное ингибирующее действие *Norfloxacin* проявляет в 1М HCl. Это объясняется значительным влиянием pH среды на степень протонирования молекул действующего вещества и перераспределением зарядов на адсорбционно-реакционных центрах, прежде всего атомах азота (табл.1, табл. 3). Увеличению защитного эффекта в 1М HCl способствует увеличение заряда на N2. Снижение заряда на указанном атоме при увеличении степени протонирования приводит уменьшению защитного эффекта в растворе 2,7М HCl.

Таблица 3

Распределение зарядов на атомах действующего вещества Norfloxacin (Hyperchem 7.0, метод PM3)

Атомы	Непротонированная форма	Протонированная форма	
		+1	+2
N1	-0,056	-0,047	-0,035
N2	-0,03	0,2954	0,065
N3	0,197	0,261	0,74
O4	-0,373	-0,225	-0,175

Norfloxacin выявился более эффективным также и при биокоррозии стали Ст3пс (табл. 4). Зависимость его защитного эффекта от концентрации (рис. 1, *б*) в интервале

0,2-2 г/л является практически функциональной (R^2 = 0,9975). Корреляционное уравнение при этом имеет вид Z_m = 1,4558C + 92,599.

Таблица 4

Эффективность при биокоррозии стали Ст3пс инициированной сульфидогенным коррозионным микробным сообществом ($C_{Iн}$ = 1 г/л)

Ингибитор	$K_m \cdot 10^2$, г/(м^2·час)	$П \cdot 10^2$, мм/год	γ_m	Z_m, %	Титр СВБ	
					суспензия кл/мл	биопленка кл/см^2
–	4,12±0,19	4,61±0,20	–	–	$1{,}3 \cdot 10^7$	$2{,}1 \cdot 10^5$
Norfloxacin	0,29±0,02	0,32±0,02	14,07	94,00	$2{,}5 \cdot 10^6$	$1{,}3 \cdot 10^4$
Действующее вещество Norfloxacin	1,23±0,06	1,38±0,07	3,34	70,0	$2{,}5 \cdot 10^7$	$2{,}1 \cdot 10^6$
Etamsylate	3,26±0,10	3,56±0,15	1,26	20,80	$1{,}3 \cdot 10^8$	$2{,}1 \cdot 10^6$

Высокий защитный эффект Norfloxacin объясняется биоцидными свойствами его действующего вещества на денитрифицирующие и сульфатвосстанавливающие бактерии, что установлено как для накопительной культуры, так и штамма Киев-10 (рис. 2). При этом величина диаметра угнетения роста СВБ (до 20 мм) и изменение их численности в планктоне и биопленке (не происходит полного подавления роста) свидетельствуют о биостатическом эффекте действующего вещества Norfloxacin, что согласуется с данными о низкой скорости адаптации микроорганизмов к препарату [11].

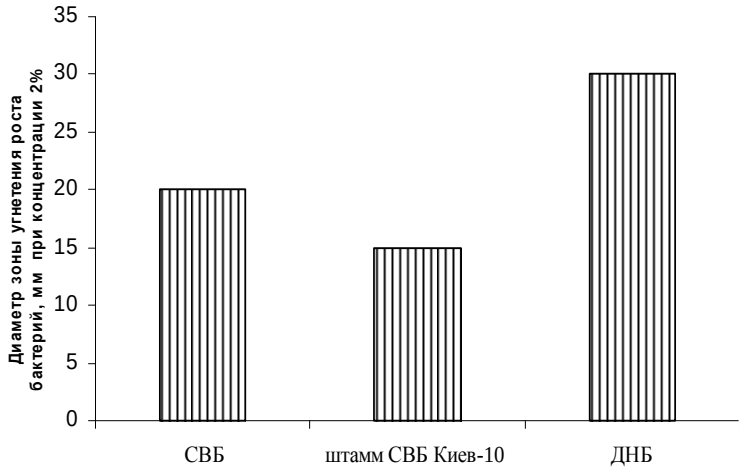
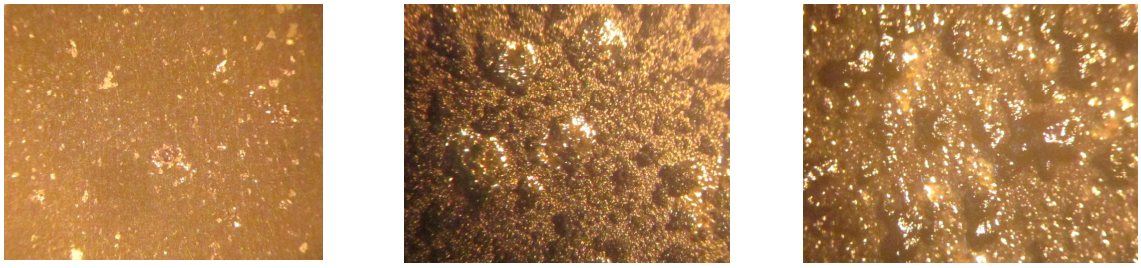


Рис. 2. Биоцидное действие действующего вещества препарата Norfloxacin

При ингибировании биокоррозии действующим веществом Norfloxacin образуется видимая сульфидная пленка (рис. 3, *а*), которая существенно отличается по внешнему виду от пленки на поверхности стального образца из неингибированой среды (рис. 2, *б*).



а *б* *в*

Рис. 3. Фотографии поверхности стали Ст3пс после 240 часов выдержки в среде с бактериальной сульфатредукцией: а – действующее вещество Norfloxacin; б – без ингибитора; в – Etamsylate

Вероятно, такая пленка может выполнять определенное защитное действие, что и обеспечивает защитный эффект 70 %. Непосредственно препарат Norfloxacin проявляет более высокое биоцидное действие на СВБ: диаметр зоны угнетения роста при 2 % составляет 38 мм [10], что вероятно обусловлено синергизмом его компонентов (табл. 1). Его защитный эффект также значительно выше и составляет 94 %.На поверхности стального образца после 240 часов выдержки в среде с бактериальной сульфатредукцией видимой сульфидной пленки нет. Таким образом, можно сделать вывод, что компоненты препарата оказывают синергетическое действие как на биоцидные свойства по отношению к СВБ, так и на ингибирующий эффект. Поверхность образца, выдержанного в среде с Etamsylate (рис. 3, *в*), практически не отличается от образца из неингибированной среды, что согласуется с результатами гравиметрических исследований и его влиянием на численность бактерий в планктоне и биопленке.

Выводы. Фармакологический препарат Norfloxacin является достаточно эффективным ингибитором кислотной (Z_m = 75,0-86,5 % при 0,5-5,7 г/л) и микробной коррозии малоуглеродистой стали, инициированной сульфатвосстанавливающими бактериями (Z_m = 94 % при 1 г/л), что позволяет рекомендовать его для использования в противокоррозионной защите. Ингибирующее действие Etamsylate значительно ниже и при биокоррозии составляет только 20 %.

Список использованных источников

1. *Романенко И. В.* Производные бензимидазола, проявляющие ингибиторную и биоцидную активность / И. В. Романенко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2000. – Т. 2, № 1. – С. 513-515.

2. *Антимикробная* активность некоторых производных азипина конденсированного с триазолом и имидазолом / А. П. Третяк, Н. В. Смыкун, С. В. Приходько [и др.] // Вісник Одеського національного університету. – 2001. – Т. 6, № 4. – С. 313-316.

3. *Аббасов В. М.* Защита стали от сероводородной коррозии с применением бактерицидов / В. М. Аббасов, И. А. Мамедов, Е. Ш. Абдуллаев // Защита металлов. – 1995. – Т. 31, № 2. – С. 206-208.

4. *Мікробна* корозія підземних споруд / [К. І. Андреюк, І. П. Козлова, Ж. П. Коптєва та ін.]. – К. : Наук. думка, 2005. – 258, [1] с.

5. *Shahid, M.* Corrosion protection with eco-friendly inhibitors / M. Shahid // Advances In Natural Sciences: Nanoscience And Nanotechnology. – 2011. – Vol 2. – P. 1-5.

6. *Kumar, S. S.* Ceftriaxone: a novel corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid / S. S. Kumar, M. A. Quraishi // Journal of Applied Electrochemistry. – 2009. – Vol. 39, № 9. – P. 1517-1523.

7. *Solmaz, R.* The Effect of Rhodanine on the Corrosion Performance of Mild Steel With Immersion Time / R. Solmaz, G. Kardaş, B. Yazici, M. Erbil // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2007. – Т. 43, № 5. – С. 522-528.

8. *Сизая О. И.* Использование некондиционных фармпрепаратов в противокоррозионной защите стали / О. И. Сизая, О. Л. Гуменюк, А. А. Королев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – № 4. – С. 13-16.

9. *Eddy, N. O.* Inhibition of the corrosion of mild steel in HCl by sparfloxacin / N. O. Eddy, S. A. Odoemelam, A. J. Mbaba // African Journal of Pure and Applied Chemistry. – 2008. – Vol. 2, № 12. – P. 132-138.

10. *Противокоррозионные* свойства некоторых фармакологических препаратов / В. Н. Челябиева, О. Л. Гуменюк, Е. С. Бондарь, С. В. Приходько // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 2 (49). – С. 129-135.

11. *Режим* доступа : http://www.apteka.ua/article/10328.

12. *Романенко В. И.* Экология микроорганизмов пресных водоемов / В. И. Романенко, С. И. Кузнецов. – Л. : Наука, 1974. – 196 с.

13. *Руководство* к практическим занятием по микробиологии : [практ. пособие] / [под ред. Н. С. Егорова.]. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 215 с.

УДК 620.197.3

Ю.В. Квашук, аспирант
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ» ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Приведены результаты экспериментальных исследований сохранности защитного противокоррозионного эффекта стали Ст3 в рабочих средах пищевых производств после предварительной обработки поверхности металла дезинфицирующими растворами соляной кислоты с добавками экологически чистых ингибиторов коррозии на основе растительного сырья – ГС-1, РС-ЧДТУ и ГС-2. Установлено, что наибольший эффект «последействия» наблюдается при использовании модифицированного ингибитора ГС-2. Обоснована целесообразность применения данного ингибитора в производстве для защиты оборудования предприятий пищевой промышленности от коррозии.

Ключевые слова: *эффект «последействия», ингибиторы коррозии, растительное сырье.*

Наведені результати експериментальних досліджень збереження захисного протикорозійного ефекту сталі Ст3 у робочих середовищах харчових виробництв після попереднього оброблення поверхні металу дезінфікуючими розчинами соляної кислоти з додаванням екологічно чистих інгібіторів корозії на основі рослинної сировини – ГС-1, РС-ЧДТУ і ГС-2. Встановлено, що найвищий ефект «післядії» спостерігається під час використання модифікованого інгібітора ГС-2. Обґрунтована доцільність використання цього інгібітора у виробництві для захисту обладнання підприємств харчової промисловості від корозії.

Ключові слова: *ефект «післядії», інгібітори корозії, рослинна сировина.*

The experimental results preservation protective anticorrosive effect of steel Cm3 in working mediums of food production after pre-treatment of the metal surface by disinfecting solutions of hydrochloric acid with the addition of ecological corrosion inhibitors based on vegetable raw materials – ГС-1, РС-ЧДТУ and ГС-2. Found that the most effective «after-effect» is observed using modified ГС-2 inhibitor. The expediency of application of this inhibitor in production for protection of the equipment of enterprises of the food industry against corrosion is proved.

Key words: *«after-effect», corrosion inhibitors, vegetable raw materials.*

Постановка проблемы. Оборудование пищевых производств эксплуатируется в условиях воздействия коррозионно-активных сред с постоянно изменяющимися физико-химическими свойствами, абразивных частиц и множества технологических факторов – температуры, давления, скорости движения среды, механических и гидродинамических нагрузок. Вследствие этого конструкционные стали подвергаются коррозионно-абразивному изнашиванию, что влечет за собой резкое снижение долговечности оборудования, большие безвозвратные потери металла и значительные материальные затраты, связанные с проведением трудоемких ремонтных работ. При этом косвенные убытки, вызываемые нарушением технологического режима и потерями перерабатываемых продуктов в производстве, превосходят убытки из-за потерь разрушенного металла и необходимости проведения ремонтных работ, а иногда и стоимость отдельных видов оборудования [1].

Поэтому особое внимание уделяется повышению долговечности и надежности выпускаемого технологического оборудования и коммуникаций для пищевой промышленности и разработке эффективных способов противокоррозионной защиты, что особенно актуально в связи с интенсификацией производства и непрерывным циклом работы пищевых предприятий.

Важным резервом повышения коррозионной стойкости конструкционных сталей, применяемых для изготовления технологического оборудования, является разработка и внедрение противокоррозионного ингибирования. Поскольку машины, аппараты и коммуникации пищевых производств после очистки и дезинфекции подвергаются влиянию коррозионно-активных технологических сред, а непосредственное введение ингибирующих добавок в пищевые продукты исключено из-за особых требований, регламентированных стандартами по изготовлению продуктов и санитарными нормами, особое значение имеет наличие так называемого эффекта «последействия» ингибиторов коррозии – сохранение защитного действия в течение длительного времени после предварительной обработки поверхности стали.

Анализ предлагаемых к использованию в различных отраслях пищевой промышленности ингибиторов коррозии, например, ХОСП-10 «Уникол», КС, ЧМ, КПИ-3, для снижения агрессивности моющих и дезинфицирующих средств при обработке оборудования показал, что большинство из них по токсикологическим показателям не соответствуют требованиям экологической безопасности и санитарной гигиены. Поэтому актуальным аспектом исследования является разработка ингибиторов коррозии на основе сырья биологического происхождения. Значительный интерес в данном отношении представляет растительное сырье Украины.

Цель работы. Исследование эффекта «последействия» разработанных ингибиторов на основе растительного сырья для повышения коррозионной стойкости оборудования пищевых производств в агрессивных технологических средах.

Данная работа является продолжением исследований представленных в [2; 3].

Материалы и методы исследования. В данной работе для исследований использовали малоуглеродистую сталь Ст3 – один из наиболее распространенных конструкционных материалов, после нержавеющей стали, для изготовления различного вида оборудования пищевой промышленности. Эта сталь широко применяется, к примеру, в производстве сахара и кондитерских изделий (корпуса и лопасти диффузионных аппаратов, рамки и сетки дисковых фильтров, трубопроводы подачи диффузионного сока и сиропа); в производстве спирта и ликероводочных изделий (корпуса бродильных чанов, резервуары для хранения спирта, сортировочный и напорный чаны, трубопроводы подачи спирта, смесители мелассы) и т. д. Однако сталь Ст3 характеризуется невысокой коррозионной стойкостью во многих средах пищевых производств, поэтому в большинстве случаев требует защиты от коррозии.

В качестве модельных сред пищевых производств использовали: растворы органических кислот (винной, лимонной, уксусной) и соляной кислоты, как дезинфектора, а также этиловый спирт, виноградное вино, сахарный сироп. Оценивали противокоррозионную эффективность разработанных ингибиторов на основе растительного сырья – РС-ЧДТУ (на основе рапса) и ГС-1 (на основе горчицы). Перспективность их выбора связана с экологичностью и доступностью сырьевой базы, наличием S-, O- и N-содержащих соединений в составе растительного сырья, способных к образованию комплексов с атомами и оксидами железа, что создает условия для формирования пассивного состояния поверхности металла.

Коррозионные испытания проводили гравиметрическим методом на образцах из стали Ст3 в виде прямоугольных пластинок размером 50,3×22,3×3,2 мм. Скорость коррозии оценивали по формуле:

$$K_m = (m_1 - m_2)/ S \cdot \tau,$$

где K_m – скорость коррозии, г/(м^2·час); m_1 – масса образца до испытания, г; m_2 – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности образца, м^2; τ – длительность исследования, час. Эффективность защитного действия ингибитора коррозии оценивали по степени защиты:

$$Z_m = [(K_m - K'_m) / K_m]\cdot 100, \%,$$

где K_m, K'_m – скорость коррозии металла без ингибитора и с ингибитором соответственно, г/(м^2·час).

Температура растворов 293-333 К. Температуру растворов поддерживали с помощью термостата ТГУ (погрешность ± 0,5 ^{0}С).

Результаты исследований. Наличие эффекта «последействия» проверяли после обработки стали Ст3 дезинфицирующим раствором 1н соляной кислоты с добавлением исследуемых ингибиторов в оптимальной концентрации (ГС-1 – 0,3 г/л, РС-ЧДТУ – 0,2 г/л, в пересчете на действующее вещество) в течение определенного времени. Обра-

ботанную пластинку погружали в коррозионно-активную рабочую среду без ингибитора, выдерживали. После экспозиции пластинку промывали водой, взвешивали и рассчитывали степень защиты от коррозии. Противокоррозионный эффект обеспечивает наличие пленки на поверхности металла, образованной за счет адсорбции ингибитора. Результаты исследования эффективности ингибиторов ГС-1 и РС-ЧДТУ при температуре 293 К в 1н растворах кислот (экспозиция 2 часа) представлены на рис. 1 и в табл. 1.

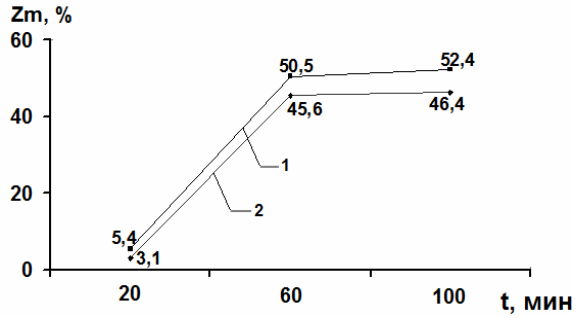


Рис. 1. Зависимость эффекта «последействия» ингибиторов ГС-1 и РС-ЧДТУ на стали Ст3 в 1н HCl от времени выдержки образцов в ингибированном растворе дезинфектора: 1 – ГС-1; 2 – РС-ЧДТУ

Следует отметить, что максимально возможная степень защиты наблюдается после выдержки образцов из стали Ст3 в ингибированном растворе дезинфектора в течение часа, поскольку дальнейшее увеличение экспозиции не оказывает существенного влияния на эффект «последействия».

Таблица 1

Эффект «последействия» ингибиторов ГС-1 и РС-ЧДТУ на стали Ст3 в 1н растворах кислот (время выдержки в ингибированном растворе дезинфектора 1 час)

Кислота	K_m, г/(м^2·час)			Z_m, %	
	Без ингибитора	ГС-1	РС-ЧДТУ	ГС-1	РС-ЧДТУ
Соляная	4,121	2,040	2,242	50,5	45,6
Винная	1,823	0,795	0,888	56,4	51,3
Лимонная	1,795	0,767	0,864	57,3	51,9
Уксусная	0,744	0,258	0,296	65,3	60,2

При использовании ингибитора ГС-1 скорость коррозии стали уменьшается в 2,02-2,88 раза в зависимости от кислоты, при использовании ингибитора РС-ЧДТУ – в 1,84-2,51 раза. Наибольшая степень защиты стали Ст3 наблюдается в уксусной кислоте, наименьшая – в соляной кислоте.

Промывка оборудования кислотными дезинфекторами на предприятиях пищевой промышленности осуществляется с различной периодичностью и интенсивностью в зависимости от особенностей производственных процессов, состава, консистенции и свойств используемого сырья для изготовления продуктов, а также характеристик конструкционных материалов, из которых изготовлено оборудование. При этом время дезинфекции составляет 10-20 минут. Анализ приведенных выше результатов исследований показывает, что для обеспечения надежной защиты оборудования в производственных условиях в соответствии с технологическими требованиями и регламентами необходимо интенсифицировать эффективность защитного действия после предварительной обработки поверхности стали дезинфицирующим раствором с ингибиторами ГС-1 и РС-ЧДТУ.

Анализ литературных данных [4-6] показал, что использование индивидуальных ингибирующих добавок менее эффективно, чем применение синергических ингибирующих композиций. Исходя из этого, был разработан ингибитор ГС-2 на основе ингибиторов ГС-1 и МГ-ЧДТУ, взятых в соотношении 4:1. Ингибитор МГ-ЧДТУ – модифицированное растительное масло, которое обеспечивает высокую эффективность противокоррозионной

защиты конструкционных сталей в нейтральных и кислых средах (Z = 93,0-99,8 %), обладает биоцидными и бактерицидными свойствами, применяется для улучшения физико-механических и защитных свойств лакокрасочных покрытий.

На рис. 2 представлены сравнительные результаты исследования эффекта «последействия» ингибиторов ГС-1 и МГ-ЧДТУ, взятых в концентрациях, исходя из указанного соотношения 4:1, и комбинированного ингибитора ГС-2. Установлено, что при использовании комбинированного ингибитора ГС-2 наблюдается наивысшая эффективность противокоррозионной защиты в сравнении с ингибиторами ГС-1 и МГ-ЧДТУ. Исходя из полученных результатов, можно судить о наличии синергизма при совместном использовании ингибиторов ГС-1 и МГ-ЧДТУ.

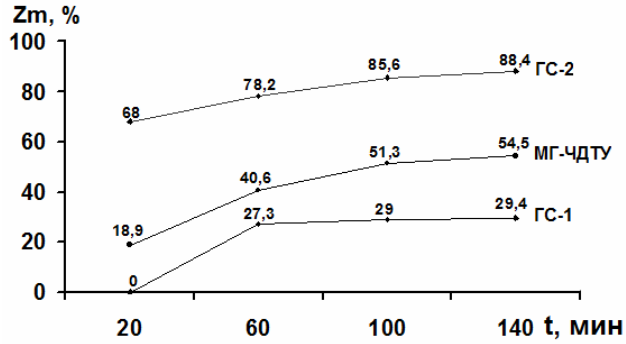


Рис. 2. Зависимость эффекта «последействия» ингибиторов ГС-1, МГ-ЧДТУ и ГС-2 на стали Ст3 в 1н растворе соляной кислоты от времени выдержки образцов в ингибированном растворе дезинфектора (экспозиция 2 часа, 293 К)

Результаты исследования эффекта «последействия» ингибиторов ГС-2 и МГ-ЧДТУ, взятых в оптимальных концентрациях, на стали Ст3 в 1н растворах кислот представлены в табл. 2 (время выдержки в ингибированном растворе дезинфектора 20 минут). При использовании ингибитора ГС-2 скорость коррозии стали уменьшается у 3,12-5,09 раза в зависимости от кислоты, при использовании ингибитора МГ-ЧДТУ – в 1,39-1,71 раза.

Таблица 2

Эффект «последействия» ингибиторов ГС-2 и МГ-ЧДТУ на стали Ст3 в 1н растворах кислот (экспозиция 2 часа, температура 293 К)

Кислота	K_m, г/(м^2·час)			Z_m, %	
	–	ГС-2	МГ-ЧДТУ	ГС-2	МГ-ЧДТУ
Соляная	4,121	1,319	2,967	68,0	28,0
Винная	1,823	0,436	1,183	76,1	35,1
Лимонная	1,795	0,434	1,138	75,8	36,6
Уксусная	0,744	0,146	0,436	80,4	41,4

Изменение эффекта «последействия» ингибитора ГС-2 с увеличением времени выдержки образцов в агрессивной рабочей среде представлены на рис. 3 (время выдержки в ингибированном растворе дезинфектора 20 минут).

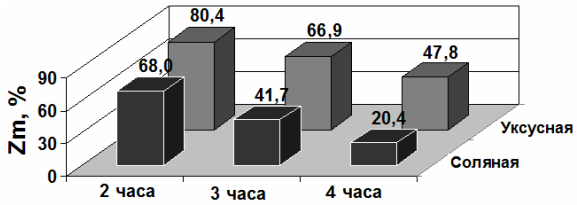


Рис. 3. Зависимость эффекта «последействия» ингибитора ГС-2 от времени выдержки образцов из стали Ст3 у 1н растворах кислот (293 К)

Так, например, промывка оборудования цеха бродильного отделения кислотными дезинфекторами, в том числе и раствором соляной кислоты, на предприятиях виноделъческой и спиртовой промышленности, а также диффузионных аппаратов сахарного производства осуществляется в большинстве случаев с частотой 1 раз в 4-5 дней. Поэтому необходимо исследовать эффект «последействия» ингибитора ГС-2 в рабочих средах данных отраслей пищевой промышленности в соответствии с технологическими регламентами с целью разработки практических рекомендаций для применения данного ингибитора в противокоррозионной защите оборудования.

Результаты исследования эффекта «последействия» ингибитора ГС-2 на стали Ст3 в специфических пищевых средах представлены в табл. 3 (экспозиция 4 суток, температура 293 К, время выдержки в ингибированном растворе дезинфектора 20 минут).

Таблица 3

Эффект «последействия» ингибитора ГС-2 на стали Ст3 в специфических пищевых средах

Среда	K_m, г/(м^2·час)		Z_m, %
	–	ГС-2	
Виноградное вино	0,135	0,045	66,7
Спирт этиловый, 40 %	0,063	0,019	69,8
Сахарный сироп, 10 %	0,022	0,005	77,3

Поскольку большинство технологических процессов в пищевых производствах происходят при повышенных температурах проведены исследования противокоррозионных свойств ингибиторов в данных условиях. Результаты представлены на рис. 4 (время выдержки образцов в ингибированном растворе дезинфектора с ГС-1 – 1 час, с ГС-2 – 20 минут).

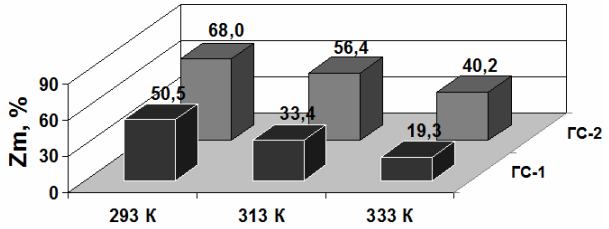


Рис. 4. Зависимость эффекта «последействия» ингибиторов ГС-1 и ГС-2 от температуры раствора 1н HCl на стали Ст3 (экспозиция 2 часа)

С повышением температуры от 293 К до 333 К степень защиты стали Ст3 (эффект «последействия») в 1н растворе соляной кислоты уменьшается в случае использования ГС-1 в 2,62 раза, ГС-2 в 1,69 раза.

При кислотной промывке и очистке паровых котлов с целью предотвращения образования накипи используются такие ингибиторы коррозии, как ПБ-5, концентрат низкомолекулярных кислот (уксусной, муравьиной, масляной), КНПК в смеси с комплексоном – трилоном Б, КС, ЧМ, катапин и другие, которые способны замедлять коррозию металла в кислоте в сотни раз. На предприятиях пищевой промышленности преимущественно при обработке паровых котлов используют 3-5 % раствор соляной кислоты с добавлением ингибитора ПБ-5, который представляет собой продукт конденсации уротропина и анилина. С целью обоснования целесообразности применения ингибитора ГС-2 для защиты оборудования пищевых производств от коррозии проведены сравнительные исследования эффекта «последействия» ингибиторов ПБ-5 (1,5 г/л) и ГС-2 (0,3 г/л) на стали Ст3 в 1н растворе соляной кислоты, результаты которых представлены в табл. 4 (экспозиция 2 часа, температура 293 К, время выдержки образцов в ингибированном растворе соляной кислоты 20 минут).

Таблица 4

Эффект «последействия» ингибиторов ГС-2 и ПБ-5 на стали Ст3 в 1н растворе соляной кислоты

Кислота	K_m, г/(м^2·час)			Z_m, %	
	–	ГС-2	ПБ-5	ГС-2	ПБ-5
Соляная	4,121	1,319	1,426	68,0	65,4

При использовании ингибиторов ГС-2 и ПБ-5 скорость коррозии стали Ст3 в 1н растворе соляной кислоты уменьшается у 3,12 и 2,89 раза соответственно. Исходя из полученных результатов, можно судить о том, что ингибитор ГС-2 (на растительной основе) по эффективности противокоррозионной защиты не уступает промышленному ингибитору ПБ-5, а также имеет ряд существенных преимуществ: универсальность действия, екологическая безопасность и улучшение санитарно-гигиенических условий при получении и применении ингибитора.

Выводы. Исследовано противокоррозионную активность ингибиторов ГС-1, РС-ЧДТУ и ГС-2 на наличие эффекта «последействия» в средах пищевых производств с различной агрессивностью. Отмечена достаточно высокая степень противокоррозионной защиты (эффект «последействия») ингибитора ГС-2 в пищевых средах после выдержки образцов в ингибированном растворе соляной кислоты в течение 20 минут, что соответствует технологическому регламенту и позволяет рекомендовать его для защиты оборудования предприятий пищевой промышленности от коррозии путем введения в раствор дезинфектора.

Список использованных источников

1. *Тищенко Г. П.* Корозія і захист від корозії в харчовій промисловості / Г. П. Тищенко, М. В. Бурмістр. – Дніпропетровськ : УДХТУ, 2002. – 461 с.

2. *Влияние* продуктов переработки растительного сырья на коррозионно-электрохимическое поведение стали в пищевых производствах / О. И. Сизая, О. Н. Савченко, Ю. В. Квашук, А. А. Королев // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 4 (2). – С. 179-182.

3. *Вплив* технологічних факторів на корозійну тривкість сталей в харчових виробництвах / Ю. Квашук, О. Сиза, О. Савченко, В. Челябієва // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – Спец. випуск № 9. – Т. 1. – С. 226-231.

4. *Савченко О. М.* Модифікація рослинних олій як метод підвищення протикорозійних властивостей інгібіторів і лакофарбових матеріалів на їх основі / О. М. Савченко, О. І. Сиза // Вісник Чернігівського держ. технол. ун-ту. – 2004. – № 21. – С. 188-195.

5. *Савченко О. Н.* Использование модифицированных растительных масел в противокоррозионной защите стали / О. Н. Савченко, О. И. Сизая // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – № 4. – С. 14-18.

6. *Савченко О. Н.* Использование модифицированного горчичного масла в противокоррозионной защите стали / О. Н. Савченко, О. И. Сизая, О. Л. Гуменюк // Защита металлов. – 2005. – Т. 41, № 6. – С. 620-627.

РОЗДІЛ ІІІ. ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ І АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.42

А.В. Рудик, канд. техн. наук
В.А. Рудик, магістрант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ШЛІФУВАННЯ ВПАЛИХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ КОНІЧНОЮ ПОВЕРХНЕЮ АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Запропоновано новий ефективний спосіб шліфування запалих фасонних поверхонь обертання із захищеною формотворною точкою, який дозволяє керувати подачею на рядок. Робота по зрізанню припуску розподілена вздовж різних ділянок профілю інструменту з конічною фасонної поверхнею.

Ключові слова: *формоутворення, конічна поверхня інструменту, шліфування.*

Предложен новый эффективный способ шлифования впалых фасонных поверхностей вращения с защищенной формообразующей точкой, который позволяет управлять подачей на строку. Работа по срезанию припуска распределена вдоль различных участков профиля инструмента с конической фасонной поверхностью.

Ключевые слова: *формообразование, коническая поверхность инструмента, шлифование.*

A new effective method of grinding hollow profiled surfaces with protected formative point, which allows you to manage serving line. Work on the cutting of the allowance is distributed along different sections of the profile of the instrument with a conical shaped surface.

Kay words: *forming, the instrumental tools conical surface, grinding.*

Постановка проблеми. Проблема шліфування фасонних поверхонь обертання є актуальною для обробки багатьох деталей машинобудування. Якщо вони не жорсткі, через їх велику довжину, то режими шліфування обмежені, а наладка потребує використання люнетів. Сам верстат тому також може мати меншу жорсткість та відповідно меншу потужність. Тому на операціях зовнішнього шліфування можна ефективно використовувати менш жорсткий заточувальний верстат з ЧПК моделі ВЗ208 ФЗ. Кінематику з додаванням поздовжньої та слідкуючої вертикальної подач він також може забезпечити. Крім того, цей заточувальний верстат з ЧПК має меншу потужність, що забезпечить зменшення витрат на електричну енергію під час обробки. Також він дозволяє зменшити виробничі площі за рахунок малих габаритів та можливого використання його у нічний час.

До деталей, які мають впалу робочу фасонну поверхню, належать оправки станів холодної протяжки труб та інші. Такі деталі мають високі вимоги до точності форми та шорсткості оброблених поверхонь, яка може досягати Ra 0,4.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі такі способи оброблення подібних поверхонь.

Відомий спосіб шліфування фасонних поверхонь обертання на верстатах з ЧПК торцем чашкового круга, розроблений ученими університету В.І. Кальченко та В.В. Кальченко, що описує формоутворення на верстатах з ЧПУ зовнішньою ділянкою торової поверхні радіусом ρ_1 [1; 2], увігнутих криволінійних поверхонь обертання.

Недоліками цієї схеми є невисока стійкість, у тому числі розмірна, різальної кромки кругу, яка викликана відносно малим об’ємом абразиву, який прилягає до неї. Ті точки периферії, що беруть участь у формоутворенні, повинні, у першу чергу, зрізати чорновий припуск, тому є незахищеними.

Крім того, для цієї схеми характерними рисами є зміна розмірів контакту, що викликає зміну навантажень на ділянки абразивного інструменту; його відносно складна правка.

Як переваги, можна зазначити утворення слідів шорсткості у вигляді сітки, можливість керування контактом та формоутворенням на верстаті.

Однак за рахунок зміни геометрії деталі вздовж профілю її слід проводити по стрічках з комбінацією поздовжньої та слідкуючої подач під час переходу на наступний рядок.

Рекомендації по комбінуванню рухів у літературі полягають у заміні профілів ділянками кіл, інші майже відсутні.

Наступний спосіб обробки циліндричних, гвинтових або фасонних поверхонь описав П.Р. Родін у книзі [3] для випадку фрезерування кутовою фрезою. Цей спосіб може бути використаним для оброблення фасонних поверхонь конічною поверхнею заправленого чашкового круга. Описання схеми містить визначення характеристики та рекомендації щодо вибору поздовжньої подачі за умови забезпечення висоти хвилястості.

Автор вказує, що форма і розміри оброблених гвинтових поверхонь деталей значною мірою залежать від діаметральних розмірів та встановлення інструменту. Однак точні рекомендації щодо їх вибору не наведені. Крім того, не врахований вплив вертикальної подачі на процес формоутворення. Методика переходу на наступний рядок [3] передбачає заміну фрагментів профілів деталі та інструменту ділянками спряжених кіл та по їх значенням визначати подачу. Такий перехід містить декілька наближень, що деякою мірою знижує точність обчислень та знижує їх ефективність.

Цей спосіб формоутворення прийнятий за прототип.

Порівняно до круглого поздовжнього шліфування фасонних деталей, метод шліфування, направленим на конус торцем, забезпечує більший розмір контакту як у напрямку швидкості головного руху, так і вздовж профілю деталі на криволінійній ділянці, тому продуктивність його збільшується.

Важливим є те, що формотворна ділянка круга знаходиться на відстані від торців, тому краще захищена від зношення – головний припуск зрізується ділянкою, яка прилягає до периферійної. Завдяки такому розташуванню якість обробки також покращується, а сліди від зерен утворюють на поверхні деталі риски шорсткості у вигляді сітки.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Отже, в наведених літературних джерелах не розглянуте питання формоутворення фасонних поверхонь обертання за рахунок додавання двох рухів подач, також немає аналізу впливу розміру інструменту та кута правки на продуктивність формоутворення.

Для точного аналітичного знаходження співвідношення між подачами заданим повинен бути профіль, визначений координатами точок та дотичними в них [4]. Звичайно для оправок цей профіль увігнутий, під час зменшення значень радіусів кривизни в одну сторону. Саме в цьому напрямку для уникнення небезпеки підрізання профілю слід під час розрахунків подачі на наступний рядок здійснювати рух.

Метою статті є створення способу, який дозволить підвищити ефективність шліфування за рахунок описання та моделювання процесу формоутворення на цьому верстаті. Моделювання обробки передбачає знаходження для цього профілю деталі функціонального зв’язку між вертикальною та поздовжньою подачами.

Алгоритм розв’язку цієї задачі має такі етапи.

1. Знайти функції формоутворення абразивного інструменту, верстата та обробки.

2. Записати рівняння зв’язків між усіма змінними параметрами та знайти характеристику – лінію, яка визначає момент формоутворення. За цією характеристикою визначити в межах одного рядка ділянку профілю, яку інструмент відтворює на поверхні деталі.

3. Здійснити перехід на наступний рядок та визначити зміну вертикального положення круга, яке можна прийняти за слідкуючу подачу.

4. Встановити зв’язок між подачами та найбільше з можливих значень подачі на рядок для довільного моменту часу.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення мети слід проаналізувати можливість формоутворення лише двома подачами поздовжньою, як такою, що задає рух, та вертикальною колони, як слідкуючою (рис. 1). Слід враховувати та покращувати точність формоутворення у базовій точці порівняно до інших за допомогою використання вагових матриць.

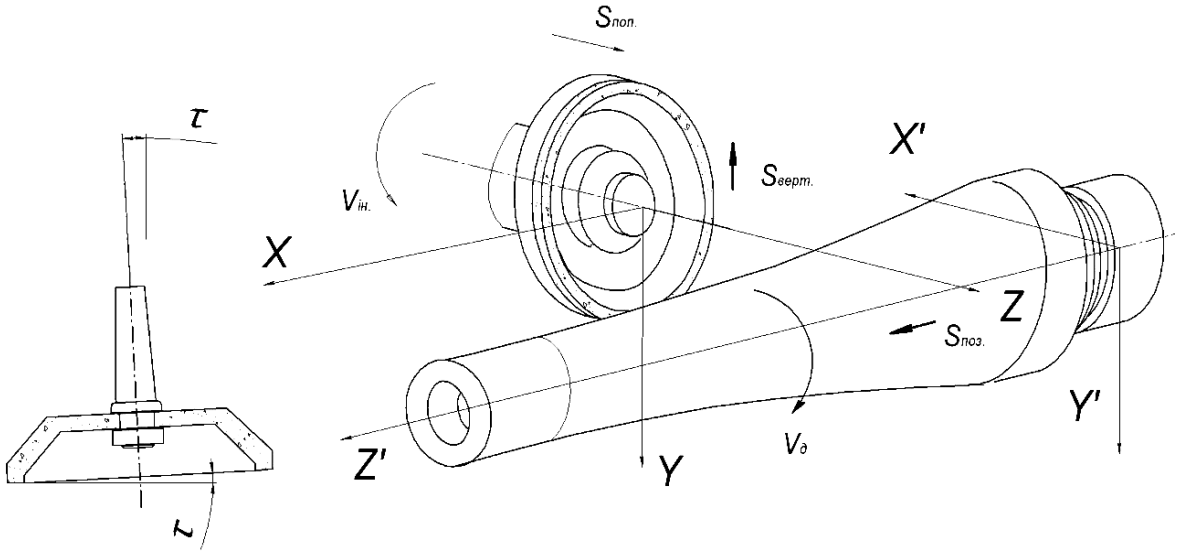


Рис. 1. Наладка верстата на оброблення фасонної поверхні з осями

Розглянемо окремо наведені етапи.

Векторне рівняння поверхні абразивного інструменту, який має заправлений на кут τ торець (рис. 1), може бути записано у такий спосіб:

$$\vec{r_i}(\varphi, R) = A^4(\varphi) \cdot A^5(\tau) \cdot A^3(R) \cdot \vec{e^4}, \quad (1)$$

де *A1(q),..A6(q)* – матриці перетворення систем координат [4] вздовж та навколо координатних осей XYZ, які залежать від деякого параметра *q; e^4* – вектор, що відповідає точці, яка знаходиться у початку системи координат *φ,R* – криволінійні координати поверхні інструменту, які відповідають за зміну кутового положення навколо осі інструмента, та радіальний розмір відповідно, *τ* – кутова орієнтація інструменту, який встановлений на колоні верстата та в цьому положенні проходить правку.

Формоутворення поверхні деталі на верстаті можна записати матричним рівнянням, враховуючи послідовні переходи між його ланками та отримане рівняння поверхні інструменту:

$$\vec{r_i}(\theta, z, x, \varphi, R) = A^6(\theta) \cdot A^3(z) \cdot A^1(x) \cdot A^5(-\tau) \cdot A^2(h) \cdot \vec{r_i}(\varphi, R), \quad (2)$$

де *z, x* – координати, які відповідають за вертикальне та поздовжнє переміщення щодо умовного нуля, *θ* – кутовий параметр, який враховує обертання деталі.

Однак воно відображає так зване «сімейство поверхонь», з якого ще потрібно виділити обвідну. Характеристика є граничною лінією, де відбувається формоутворення обробленої поверхні. Знайти її можна, склавши векторно-скалярний добуток з часткових похідних [5]

$$\vec{r_R} \times \vec{r_\varphi} \cdot \vec{r_\theta} = 0. \quad (3)$$

З цього рівняння отримують зв'язок між змінними φ(R,θ), який дозволяє визначити фрагмент утвореної поверхні деталі

$$\vec{r_i}(\theta, z, x, R) = \vec{r_i}(\theta, z, x, \varphi(R, \theta), R). \quad (4)$$

У рівнянні (4) для спрощення розміри *x,z* вважають фіксованими.

На рис. 2 показані робоча конічна поверхня чашкового круга, характеристика та спряжений з нею фрагмент обробленої поверхні деталі у межах одного рядка, що отриманий обертанням характеристики навколо осі деталі. Для аналізу можливості ефективного формоутворення розраховані різні ділянки вздовж осі деталі.

Профіль однієї з них наведений на рис. 3. Попередній аналіз показав можливість у широких межах досягати його зміни при одночасному збільшенні діаметральних розмірів утвореного рядка. Зазначимо також значну довжину цієї ділянки та характеристики. Крім того, як видно з рис. 3, вона також, як і профіль деталі, має впалу форму. Все це дозволяє збільшувати продуктивність оброблення за рахунок можливого збільшення подачі на рядок.

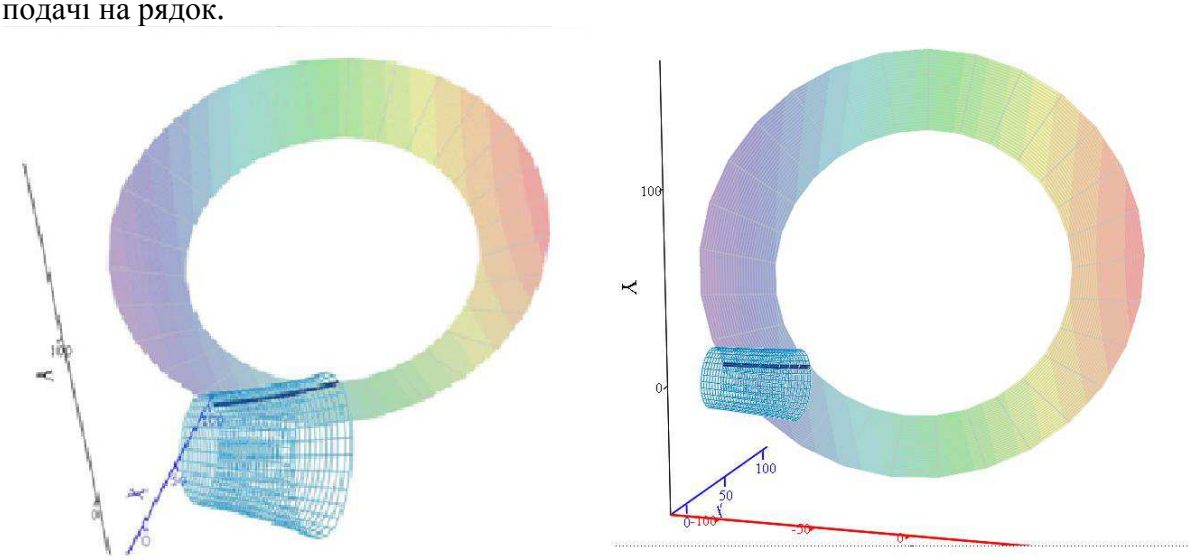


Рис. 2. Формоутворення заправленим торцем круга по рядках на поверхні деталі при різних значеннях відстані між осями

Розрахунок вертикальної слідкуючої подачі під час переходу на наступний рядок проводять у такому порядку.

Розрахунок починають з тієї сторони фасонної поверхні (на рис. 2 – лівого), де радіус кривизни профілю має найбільше значення. Звичайно тут ділянка профілю деталі наближується до прямолінійної. Потім переходять на наступний рядок, збільшуючи розмір $x = h$, який характеризує міжосьову відстань, та одночасно зміщуючись вздовж осі деталі на шукану величину z. Всі базові точки, які використовують для розрахунку наступних рядків, враховуючи монотонне зменшення радіусів кривизни, слід приймати по одну сторону від базової попереднього рядка.

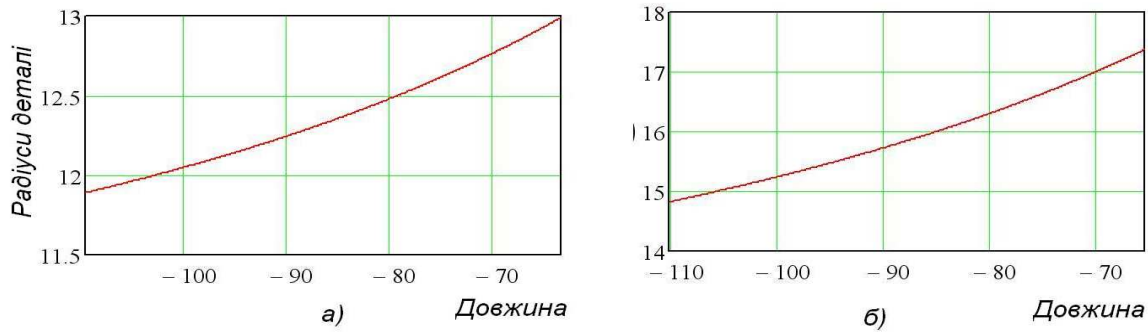


Рис. 3. Зміна профілю заготовки, утвореного по ширині рядка, по довжині при різних кутах правки круга: τ=10˚ (а) та для τ=25˚ (б)

Шуканий зсув профілю круга вздовж осі деталі зручніше виконувати в її осьовій площині під час згортання лінії контакту (рис. 3). Для знаходження величини зсуву слід по всіх радіусах рядка знайти мінімальну (або припустиму із врахуванням можливого підрізання) відстань, яку вимірюють між ділянками профілів вздовж осі z. На цю вели-

чину здійснюють зсув. Методом варіювання з використанням вагових матриць можна проводити уточнення поздовжнього зсуву.

Доцільно одночасно визначати гранично ширину рядка, яка обмежена припустимими за умовами точності розмірами відхилень, від номінального положення профілю деталі та визначає подачу $S_{позд}$.

Під час початку розрахунку слід перевірити можливість та доцільність формоутворення навколо цієї поверхні лише за рахунок однієї слідкуючої подачі, наприклад, вертикальної для верстата В3208ФЗ.

Слід виконати оптимізацію діаметрального розміру інструменту та кута його правки τ із врахуванням заданих розмірів деталі. Розрахунки показують, що під час збільшення цього кута одночасно зменшуються діаметральні розміри та їх перепад по довжині, який змінюється несуттєво (рис. 3). Під час збільшення діаметральних розмірів така зміна відбувається менш суттєво.

Різницю координат вздовж осі z або площу між профілями в межах контакту вважають функцією, яку оптимізують.

Таким чином, досягаються загальні дотичні та нормаль у точках контакту спряжених характеристики й профілю деталі і встановлюються залежності між рухами подач верстата.

Оброблення за вказаною методикою розрахунку можливо проводити на копіювальних верстатах під час використання для слідкуючої подачі шаблонів. Подібним алгоритмом можна користуватися для оброблення опуклих профілів, коли на поверхні круга пр. і правці утворюють впалу конічну поверхню.

Висновки і пропозиції. Запропонований новий ефективний спосіб шліфування впалих фасонних поверхонь обертання чашковим або тарілчастим абразивним інструментом із захищеною формотворною точкою. Цей спосіб дозволяє керувати розмірами та формою контакту між кругом та деталлю. Робота по зрізанню припуску розподілена вздовж різних ділянок профілю інструменту з випуклою конічною фасонною поверхнею. При іншому нахилі твірної профілю інструменту цей спосіб може бути використаним для формоутворення випуклих поверхонь.

Список використаних джерел

1. *Кальченко В. В.* Шлифование вогнутых и выпуклых криволинейных поверхностей вращения на станках с ЧПУ одним инструментом со скрещивающимися осями его и детали / В. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах : Межд. научн.-техн. сб. Вып. 65. – Харьков : НТУ “ХПИ”, 2003. – С. 65-72.

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

3. *Родін П. Р.* Основи формоутворення поверхонь різанням / П. Р. Родін. – К. : Вища школа, 1997. – 192 с.

4. *Родин П. Р.* Обработка фасонных поверхностей на станках с числовым программным управлением / П. Р. Родин, Г. А. Линкин, В. Н. Татаренко. – К. : Техніка, 1976. – 200 с.

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

УДК 621.822.172:621.7.079

Д.Ю. Федориненко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ТОЧНІСТЮ ПОЛОЖЕННЯ ШПИНДЕЛЯ НА ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ

Запропоновано наукові підходи щодо підвищення точності металорізальних верстатів за допомогою адаптивного керування точністю положення шпинделя на гідростатичних опорах спеціальних конструкцій. Наведено схемні рішення систем адаптивного керування на основі регулювання витратними характеристиками та геометричними параметрами гідростатичних опор шпинделя регульованого типу.

Ключові слова: *керування точністю, шпиндель, гідростатична опора.*

Предложены научные подходы к повышению точности металлорежущих станков путем адаптивного управления точностью положения шпинделя на гидростатических опорах специальных конструкций. Приведены схемные решения систем адаптивного управления на основе регулирования расходными характеристиками и геометрическими параметрами гидростатических опор шпинделя регулируемого типа.

Ключевые слова: *управление точностью, шпиндель, гидростатическая опора.*

The scientific going is in-process offered to the increase of exactness of metal-cutting machine-tools by adaptive control of spindle position accuracy on hydrostatical supports of the special constructions. Schematics are resulted of the adaptive control systems on the basis of adjusting expense descriptions and geometrical parameters of spindle hydrostatical supports of the adjustabled type.

Key words: *accuracy control, spindle, hydrostatical support.*

Постановка проблеми. Найперспективнішим з погляду збільшення точності та продуктивності процесу механічного оброблення є використання систем адаптивного керування технологічними процесами. Невід'ємною складовою сучасних адаптивних систем є мехатронні блоки, які являють собою комплекс силових, інформаційних та керуючих елементів. Однією з вагомих переваг реалізації адаптивного керування на базі мехатронних модулів є можливість використання цифрового інтерфейсу, що дозволяє використовувати такі системи у сучасних верстатах з ЧПК.

Ефективним шляхом підвищення точності, продуктивності процесів механічного оброблення на верстатах є застосування прецизійних конструкцій регульованих шпиндельних гідростатичних опор (ГСО), які дозволяють керувати параметрами точності обертання шпинделя, якості обробки, забезпечують підвищення швидкохідності шпиндельних вузлів. Автоматизація процесу керування параметрами шпиндельних ГСО створює передумови для розроблення нових технологічних процесів прецизійного механічного оброблення на верстатах, що забезпечують скорочення часу на оброблення деталі, підвищення продуктивності та зменшення кінцевої собівартості виробів. Тому актуальною проблемою машинобудування є підвищення точності та продуктивності механічного оброблення на верстатах за допомогою розроблення та використання систем адаптивного керування положенням шпинделя на базі регульованих ГСО спеціальних конструкцій.

Аналіз досліджень і публікацій. Загальна теорія та методи керування технологічними процесами під час оброблення деталей на металорізальних верстатах докладно висвітлені в роботах Б.С. Балакшина [1], Б.М. Базрова [2]. Показано перспективність використання адаптивного керування для забезпечення оптимальної точності верстатів.

Авторами робіт [3; 4] зазначається ефективність застосування регульованих ГСО для адаптивного керування точністю обробки на верстатах токарної, фрезерної, шліфувальної груп. Показано, що регульовані ГСО дозволяють керувати розмірами як статичного, так і динамічного налагодження технологічної системи.

У роботі С.В. Бойка [5] для підвищення точності положення шпинделя запропоновано використання електрогідравлічного привода регулювання зазором у ГСО, наведені перехідні характеристики привода, визначені динамічні характеристики шпиндельного вузла шліфувального верстата на регульованих ГСО. Недоліком запропонованого технічного рішення є значна тривалість перехідного процесу (до 30 с) та організація каналу зворотного зв'язку системи за діагностичним сигналом з акселерометра, який запро-

поновано встановити на корпусі шпиндельної бабки. У результаті система реагує не на відхилення шпинделя, а на коливання корпусу бабки, що знижує її надійність.

Отже, необхідний пошук нових схемних рішень стосовно автоматизації процесу керування точністю положення шпинделя на ГСО, які б забезпечували високу надійність та швидкодію.

Мета статті. Підвищення точності шпиндельних вузлів верстатів за допомогою розроблення систем адаптивного керування точністю положення шпинделя на ГСО спеціальних регульованих конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Пропонуються такі підходи для підвищення точності положення шпинделя на ГСО (рис. 1): використання адаптивних мікропроцесорних регуляторів у каналі зворотного зв'язку системи автоматичного керування (САК); застосування САК з автоматичним налагодженням параметрів регулятора залежно від технологічних факторів; використання змінної (гнучкої) структури керування виконавчими механізмами приводів.

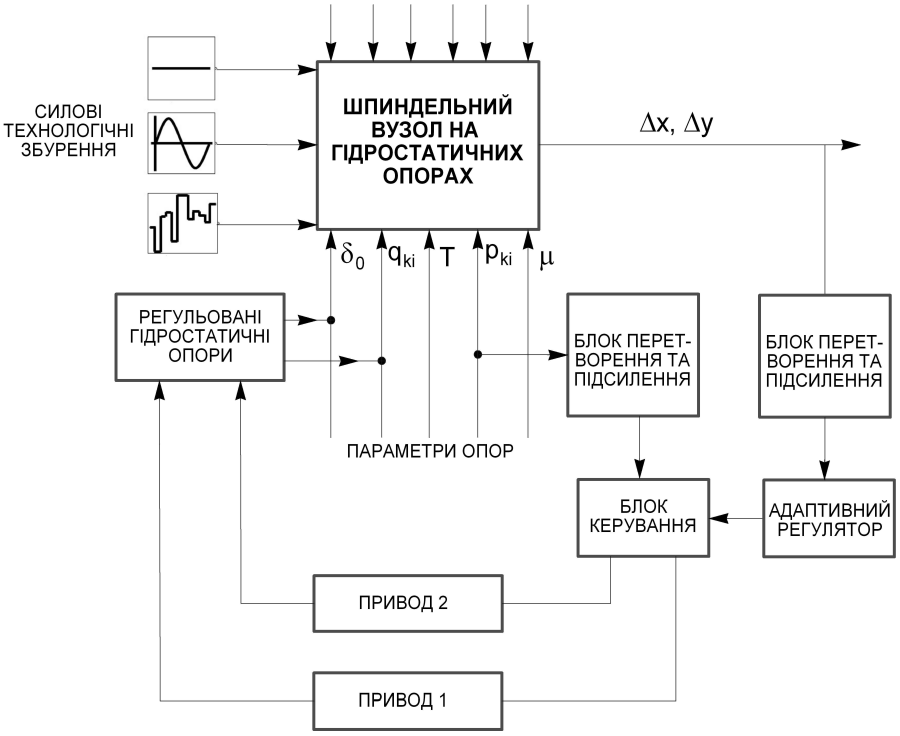


Рис. 1. Схема реалізації адаптивного керування точністю положення шпинделя на ГСО

Шпиндельний вузол верстата на ГСО у процесі експлуатації піддається впливу постійних, періодичних, випадкових силових технологічних збурень, факторів зовнішнього навколишнього середовища. Істотний вплив на точність обертання шпинделя чинять параметри його опор, зокрема: радіальний зазор δ_0, витрати рідини q_{ki} через кармани ГСО, температура робочої рідини T, тиск p_{ki} у карманах опор, в'язкість μ робочої рідини системи живлення.

Запропонована на рис. 1 схема керування залежно від характеру зміни умов оброблення передбачає можливість застосування двох режимів роботи САК. У режимі 1 відбувається регулювання витратними характеристиками опор q_{ki}; у режимі 2 – одночасне регулювання як витратними характеристиками q_{ki}, так і геометричними (величиною зазору δ_0 в ГСО). Зазначеним режимам відповідає певна структура реалізації САК (підключення привода 1 при роботі у першому режимі, або обох приводів одночасно у другому режимі). Причому прийняття рішення про зміну режиму роботи та структури САК покладено на адаптивний регулятор з апаратною реалізацією на програмованій логічній інтегральній схемі (ПЛІС).

Принципова схема адаптивної САК наведена на рис. 2.

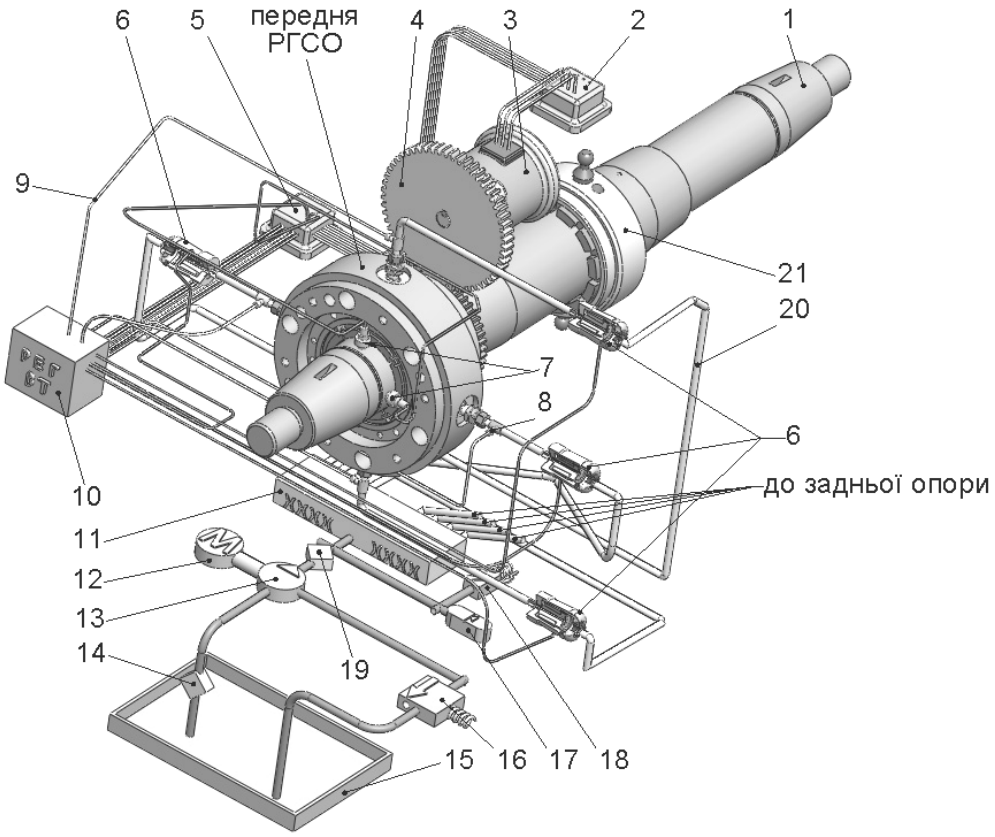


Рис. 2. Принципова схема адаптивної САК (для передньої регульованої ГСО (РГСО) шпинделя): 1 – шпиндель; 2 – регулятор КД; 3 – кроковий двигун; 4 – зубчате колесо; 5 – адаптивний регулятор; 6 – пропорційні клапани витрат; 7 – безконтактні лазерні вимірювачі, 8 – вимірювач динамічного тиску рідини; 9 – з'єднувальні кабелі; 10 – регулятор КВ; 11 – розгалуджувач потоків; 12 – електродвигун; 13 – гідронасос; 14 – фільтр чорнової очистки; 15 – бак; 16 – запобіжний клапан; 17 – реле тиску; 18 – гідроакумулятор; 19 – фільтр тонкої очистки; 20 – гідролінії; 21 – опорний підшипник

Зміщення шпинделя Δx, Δy сприймаються безконтактними прецизійними вимірювачами 7, що встановлені у відповідних напрямках. Цифрові сигнали з вимірювачів надходять на адаптивний регулятор 5, який у режимі реального часу розраховує за формулою (1) поточне значення радіус-вектора ρ_i траєкторії шпинделя 1 та порівнює його з максимально допустимим значенням ρ_{max}, при якому вихідна точність шпинделя є задовільною. Якщо $\rho_i \le \rho_{max}$, САК працює в режимі 1, в іншому випадку адаптивний регулятор переключає систему на роботу в режим 2.

Розрахунок ρ_i здійснюється за залежністю

$$\rho_i = k_o \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}\ , \qquad (1)$$

де k_o – коефіцієнт підсилення безконтактних вимірювачів переміщень.

Регулювання витратними характеристиками радіальних ГСО здійснюється таким чином.

Під дією зовнішніх збурень положення шпинделя 1 (рис. 3) у ГСО постійно змінюється. Зміщення шпинделя сприймається безконтактними вимірювачами переміщення 3 і 4, сигнали з яких надходять до ПЛІС 5 [6]. Відповідно до величини отриманого аналогового сигналу з вимірювачів ПЛІС визначає за програмою необхідну коректувальну витрату мастила Δq_1 - Δq_4 (див. рис. 3) у несучі кармани з метою компенсації зміщень шпинделя 1 під навантаженням.

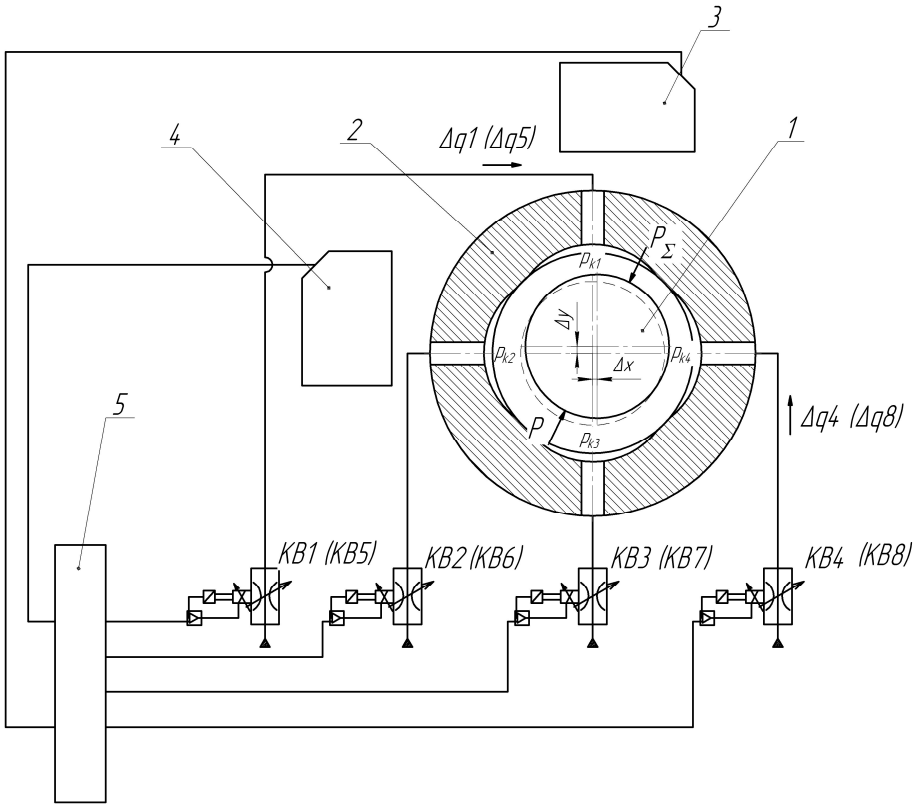


Рис. 3. Схема автоматичного керування положенням шпинделя за допомогою регулювання витратних характеристик ГСО

Згідно з визначеною коректувальною подачею мастила сигнал із ПЛІС надходить до пропорційних клапанів витрат КВ1-КВ4 (або КВ5-КВ8 для контуру коректування задньої опори), які змінюють свою пропускну здатність пропорційно до вхідного сигналу, що приводить до зміни величини тиску p_{ki} у відповідних карманах опор. У результаті збільшення подачі рідини до більш навантажених карманів ГСО відбувається формування результуючої сили гідростатичного тиску P_Σ у напрямку, протилежному до дії зовнішнього навантаження P. Під дією сили P_Σ шпиндель 1 зміщується до осі підшипника 2, тобто відбувається процес його центрування у власних опорах.

Наприклад, шпиндель у передній опорі під дією зовнішньої сили змістився вгору і вправо, як показано на рис. 3. При цьому безконтактні вимірювачі сприймають переміщення шпинделя (Δx, Δy) у напрямку осей OX та OY відповідно. Відповідно до сигналу з вимірювачів ПЛІС визначає величину та напрямок відхилення шпинделя і, згідно з алгоритмом керування, який також враховує швидкість, прискорення радіального переміщення шпинделя та величину тиску в карманах, що вимірюється давачами 8 (див. рис. 2), збільшує пропускну здатність клапанів КВ1 і КВ4 на величини Δq_1 і Δq_4, тим самим підвищуючи тиски $p_{к1}$, $p_{к4}$ у навантажених карманах ГСО. Пропускна здатність клапанів КВ2 і КВ3 у цьому випадку залишається незмінною. Значення коректувальних витрат рідини Δq_1 і Δq_4 змінюється аналоговим чином пропорційно до зміщень Δx і Δy таким чином, щоб сформувати зусилля P_Σ протилежне до напрямку вектора навантаження P. У результаті відбувається плавний рух шпинделя з ексцентричного до деякого центрального положення в опорі. Центральне положення в опорі характеризується збіганням геометричних осей опорних поверхонь шпинделя і підшипника.

Основою алгоритму роботи регулятора КВ (див. рис. 2) є розрахунок у режимі реального часу коректувальних витрат рідини Δq_i. Наприклад, за віссю OX коректувальні витрати рідини знаходяться так

$$\Delta q_x = \frac{\frac{1}{S_{еф}}\left(m_ш \frac{d^2\Delta x}{dt^2} + h_{шх}\frac{d\Delta x}{dt} + c_{шх}\cdot\Delta x\right) + Q_4(R_4 - R_2)}{R_2},$$

де $S_{еф}$ – ефективна площа карманів опори; $m_ш$ – маса шпинделя, приведена до точки дії сил різання; $h_{шх}$, $h_{шу}$, $c_{шх}$, $c_{шу}$ – еквівалентні коефіцієнти демпфування ($h_ш$) та жорсткості ($c_ш$) шпинделя за відповідними напрямками [7]; $Q_1 ... Q_4$ – витрати мастила через відповідні кармани ГСО на момент вимірювання (при ексцентричному положенні шпинделя); $R_1 ... R_4$ – опори витіканню мастила з відповідних карманів у момент вимірювання.

Значення переміщень Δx, Δy, швидкостей $d\Delta x/dt$, $d\Delta y/dt$, прискорень $d^2\Delta x/dt^2$, $d^2\Delta y/dt^2$ визначаються в режимі реального часу за показниками вимірювачів відстані, встановлених по осях OX та OY відповідно.

Регулювання величиною зазору δ_0 в ГСО здійснюється таким чином.

Аналогові сигнали з безконтактних вимірювачів після аналогово-цифрового перетворювача надходять до системи керування мікропроцесорного регулятора КД 2 (див. рис. 2), що за програмою формує сигнали керування силовими ключами інвертора (транзисторного комутатора) [6]. Інвертор генерує напруги, які безпосередньо надходять на збудження фаз крокового двигуна 3. Кут повороту крокового двигуна $\alpha_{КД}$ пропорційний кількості електричних імпульсів n_i, які надходять до нього від регулятора за програмою. На валу крокового двигуна 3 жорстко закріплене зубчасте колесо 4 (див. рис. 2), яке передає обертання шестерні, що за допомогою різевого з'єднання розміщується на хвостовій частині гідростатичної втулки з пружними елементами [8]. Під час обертання зазначеного зубчастого колеса гідростатична втулка набуває осьового переміщення і завдяки спеціальній пружній конструкції деформується, тим самим змінюючи зазор δ_0 в опорних регульованих вузлах шпинделя.

Під час виконання умови $\rho_i \geq \rho_{max}$ результуюче значення δ_i порівнюється з мінімально припустимою величиною статичного зазору δ_{min}. Якщо $\delta_i \leq \delta_{min}$, сигнал на кроковий двигун не надходить. В іншому випадку здійснюється дискретне корегування зазору в підшипнику на значення $_\Delta\delta$, наприклад 5 мкм. На двигун надходить кількість імпульсів n_i, необхідна для повороту крокового двигуна на кут $\alpha_{КД}$, який, у свою чергу, пропорційний зміні зазору $_\Delta\delta$:

$$n_i = \alpha_{КД}\cdot N_1,\ \alpha_{КД} = \frac{180\cdot D_p\cdot i_n\cdot {}_\Delta\delta}{L_p\cdot R_p\cdot n_p\cdot tg\beta},$$

де N_1 – кількість імпульсів, необхідних для повороту вала крокового двигуна на кут 1°; R_p – радіус різі на хвостовій частини гідростатичної втулки; D_p – середній діаметр різі; i_n – передавальне відношення зубчастої передачі; L_p – крок різі; n_p – число заходів різі; β – кут нахилу конічної поверхні гідростатичної втулки.

Таким чином, мікропроцесорний регулятор з кроковим двигуном безпосередньо за показниками безконтактних вимірювачів здійснює регулювання величиною радіального зазору δ_0.

Принциповою відмінністю запропонованої адаптивної САК є можливість змінювати власну структуру залежно від умов оброблення на верстатах. Функціональна схема адаптивної САК наведена на рис. 4.

Цифрові сигнали U_1, U_2 з безконтактних вимірювачів $ДБ_1$, $ДБ_2$ надходять до адаптивного регулятора АР, звідкіля сигнал $U_{КВ}$ поступає до регулятора РЕГ КВ системи регулювання витратними характеристиками ГСО. Швидкодія зазначеної системи ліміту-

ється швидкодією регульованих радіальних ГСО шпинделя, яка знаходиться в межах 20...25 Гц. При цьому адаптивна САК працює в режимі 1.

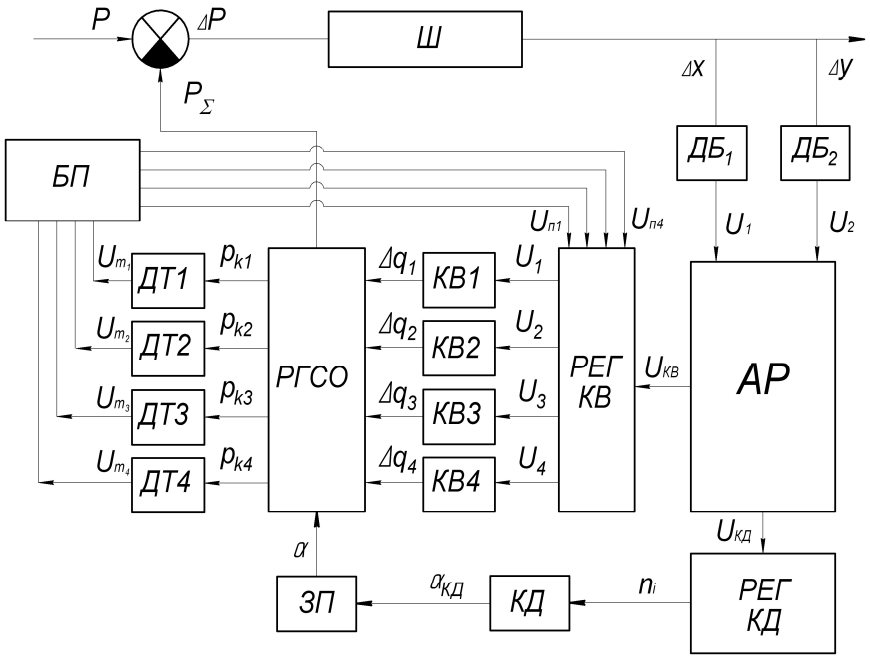


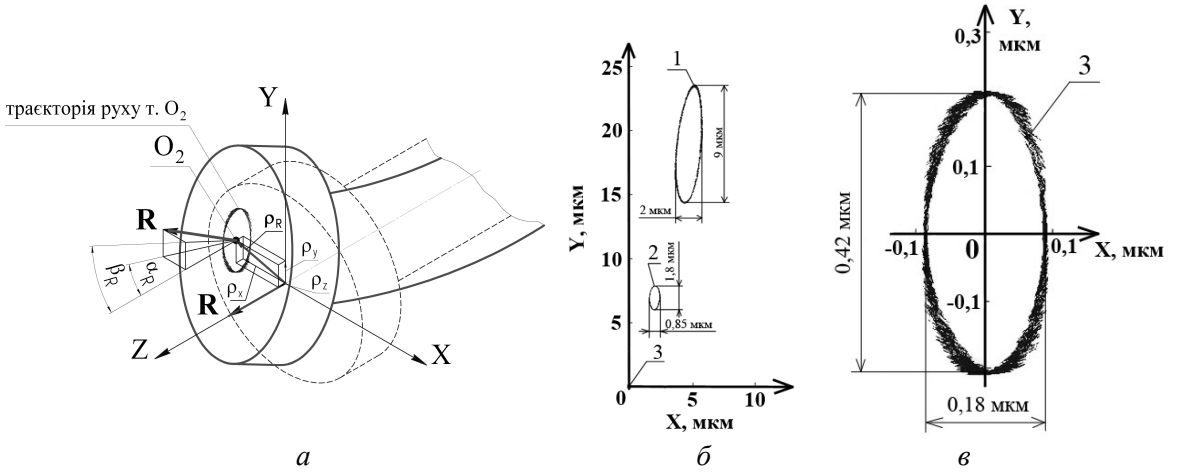
Рис. 4. Функціональна схема адаптивної САК

Якщо $\rho_i > \rho_{max}$, цифровий сигнал з АР $U_{КД}$ надходить до регулятора РЕГ КД системи регулювання геометричними параметрами (зазором δ_0) ГСО шпинделя, яка має швидкодію порядку 1 Гц. Одночасно сигнал з АР $U_{КВ}$ надходить до регулятора РЕГ КВ. При цьому адаптивна САК працює в другому режимі до виконання умови $\rho_i \le \rho_{max}$. Таким чином, система регулювання витратними характеристиками працює постійно, а система регулювання геометричними параметрами – тільки під час виконання умови $\rho_i > \rho_{max}$.

Для оцінювання ефективності запропонованої системи адаптивного керування виконано математичне моделювання траєкторій руху точки (точка O_2 на рисунку 5, *а*) прикладання характеристичного вектора R шпинделя. Положення вектора R у просторі характеризовано п'ятьма величинами: проекціями випадкового вектора ρ_R на осі декартової системи координат (ρ_x, ρ_y, ρ_z), що визначають положення точки O_2 та кутами α_R, β_R нахилу вектора R відносно площини розміщення опорної точки. Траєкторії точки прикладання вектора R характеризують динамічну якість шпиндельного вузла верстата.

У результаті імітаційного моделювання коливань шпинделя у зосереджених параметрах засобами системи Simulink отримані траєкторії руху (рис. 5, *б*, *в*) точки прикладання вектора R шпинделя токарного верстата під час варіювання системами регулювання витратних характеристик ГСО. Коливання тиску в напірних магістралях не враховувалися. Рух шпинделя з нульового положення під час пуску та зупинки верстата не розглядався. Також вияснено, що прецесійний рух шпинделя є синхронним.

Встановлено, що застосування у системі живлення регульованих пропорційних клапанів витрат рідини дозволяє зменшити розмах коливань (величини осей еліпса) на порядок порівняно з дросельною системою регулювання та у 3 рази стосовно системи насос-карман (див. рис. 5, *б*). Запропоновані рішення щодо керування витратними характеристиками ГСО під час процесу механічного оброблення дозволили змістити еліптичну траєкторію обертання шпинделя до геометричної осі підшипника (крива 3 на рис. 5, *в*). Розміри напівосей еліпсів траєкторій залежать від амплітуди гармонічної складової зовнішнього навантаження.



а *б* *в*

Рис. 5. Характеристичний вектор R шпинделя (а) та траєкторії руху точки O2 (б), крива 3 у збільшеному масштабі (в): 1 – траєкторія для дросельної системи регулювання; 2 – траєкторія для системи регулювання насос-карман; 3 – траєкторія для системи з пропорційними клапанами витрат рідини

З метою оцінювання ефективності регулювання величиною зазору δ_0 у ГСО для підвищення точності положення шпинделя досліджували параметри траєкторії руху його центра мас (приведеного до точки O_2) у площині ортогональній до геометричної осі обертання (рис. 6).

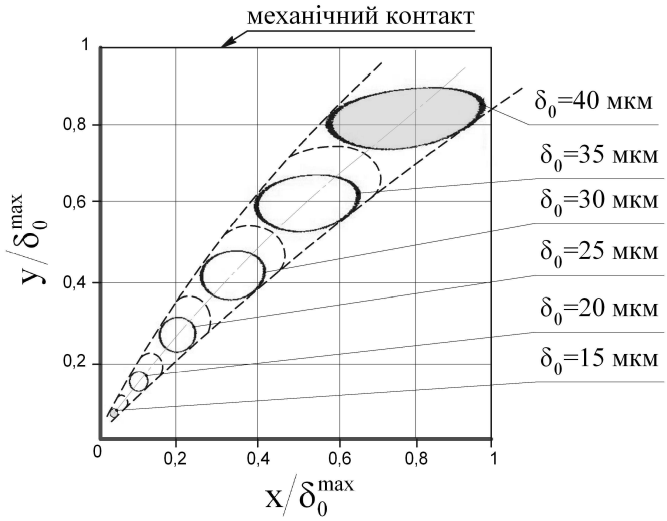


Рис. 6. Результати моделювання траєкторій руху шпинделя під час варіювання величиною зазору δ0: δ_0^{max} – максимальна величина радіального зазору в ГСО

Як видно з наведеного графіка, зменшення регульованих значень зазору δ_0 призводить як до відповідного зменшення величин напівосей еліптичної траєкторії осі обертання шпинделя, так і тренду зазначених траєкторій до центра підшипника, що на графіку визначається початком системи координат. Зазначені явища чинять позитивний вплив на формування вихідної точності верстата.

Висновки. Запропонована адаптивна САК положенням шпинделя на регульованих ГСО, яка залежно від характеру умов оброблення на верстаті передбачає зміну власної структури з метою забезпечення високої надійності та точності оброблення в широкому діапазоні зовнішніх навантажень на шпиндельний вузол верстата.

Встановлено, що застосування адаптивної САК положенням шпинделя забезпечує центрування шпинделя відносно осі підшипника в межах 0,1...0,5 мкм при навантаженні змінною силою різання, підвищує динамічну якість шпиндельного вузла за показниками статичної та динамічної податливостей у 1,3 разу.

Перспективним напрямком подальших досліджень шляхів забезпечення високої надійності та підвищення точності оброблення в широкому діапазоні зовнішніх навантажень є розробка та дослідження промислового зразка системи адаптивного керування положенням шпинделя на регульованих ГСО з пружними елементами.

Список використаних джерел

1. *Балакшин Б. С.* Адаптивное управление станками / Б. С. Балакшин. – М. : Машиностроение, 1973. – 688 с.

2. *Базров Б. М.* Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.

3. *Курешов В. А.* Система адаптивного управления для токарных станков с гидростатическими опорами шпинделей / В. А. Курешов, Э. А. Петровский, С. Н. Шатохин ; под ред. С. Н. Шатохина // Опоры скольжения с внешним источником давления : сб. статей. – 1977. – Вып. 2. – С. 147-154.

4. *Зайцев В. П.* Проектирование адаптивных гидростатических подшипников / В. П. Зайцев, С. Н. Шатохин, С. А. Ярошенко // Весник машиностроения. – 1992. – № 6-7. – С. 25-28.

5. *Бойко С. В.* Привод безступінчастого регулювання зазору в гідростатичних опорах для компенсації зміщень шпинделя: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / С. В. Бойко. – Чернігів, 2009. – 258 с.

6. *Федориненко Д. Ю.* Підвищення точності обертання шпинделя засобами мехатронних систем / Д. Ю. Федориненко, С. А. Іванець, С. П. Сапон // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія „Технічні науки” : збірник – 2011. – № 3 (51). – С. 49-57.

7. *Струтинський В. Б.* Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах : монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. – 464 с.

8. *Пат. 97685 UA,* МПК F16C 32/06. Регульований радіальний гідростатичний підшипник / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко, С. В. Бойко ; заявник і патентовласник Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”. – № a201003534 ; заявл. 26.03.2010 ; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.

УДК 621.941.08

С.П. Сапон, ст. викладач
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЕРТАННЯ ШПИНДЕЛЯ

Запропонована методика експериментального визначення траєкторій обертання шпинделя на основі використання високоточних безконтактних тріангуляційних лазерних датчиків положення та цифрових засобів оброблення інформації. Описано конструкцію та принцип роботи вимірювальної апаратури та спорядження експериментального стенда. Наведено приклади побудови траєкторій обертання шпинделя на гідростатичних опорах.

***Ключові слова**: шпиндель, експериментальні дослідження, траєкторія, лазерний тріангуляційний датчик, гідростатичні опори.*

Предложена методика экспериментального определения траекторий вращения шпинделя на основе использования высокоточных бесконтактных триангуляционных лазерных датчиков положения и цифровых средств обработки информации. Описаны конструкция и принцип работы измерительной аппаратуры и оснастки экспериментального стенда. Приведены примеры построения траекторий вращения шпинделя на гидростатических опорах.

***Ключевые слова**: шпиндель, экспериментальные исследования, траектория, лазерный триангуляционный датчик, гидростатические опоры.*

Method is proposed for experimental determine the trajectories of spindle rotation, using high-precision non-contact laser triangulation position sensors and digital processing. The design and principle of operation of the measuring apparatus and equipment the experimental stand are described. The examples of trajectories of the spindle with hydrostatic supports are present.

***Key words**: spindle, experimental studies, trajectory, laser triangulation sensor, hydrostatic support.*

Постановка проблеми. Точність робочих рухів формоутворюючих вузлів технологічного обладнання безпосередньо впливає на показники точності обробленої деталі. Одним з основних вихідних параметрів точності верстатів є траєкторія обертання шпинделя. Відомо, що на шпиндельний вузол припадає від 50 до 80 % сумарної похибки

металорізального верстата [1]. Відповідно одним з головних завдань оцінювання ефективності роботи шпиндельного вузла є визначення точності його обертання. Основою методичного підходу до визначення точності обертання шпинделя є оцінювання характеристик траєкторій обраних фіксованих точок, розташованих на допоміжних базах шпинделя, що визначають положення заготовки, пристрою або інструменту. Проте не завжди наявні засоби вимірювання дозволяють здійснити безпосереднє визначення положення названих точок. Це зумовило широке застосування методик визначення точності обертання шпинделя з використанням контрольних оправок, сфер тощо [2; 3; 4]. Шпинделі сучасних прецизійних верстатів забезпечують високу точність обертання, порівняно з точністю контрольного оснащення. Тому під час досліджень точності шпиндельних вузлів постає актуальна проблема підвищення точності вимірювальних засобів та розроблення методик, що дозволяють підвищити точність експериментального визначення характеристик траєкторій шпинделя.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження траєкторій осі оброблюваної заготовки та інструменту були започатковані А.П. Соколовським у 50-х роках минулого століття [5]. Однак через недосконалість вимірювальної апаратури, запропонована ним методика не забезпечила високої точності.

Заснований професором А.С. Проніковим програмний метод випробувань [6] дозволяє оцінювати параметри надійності та якості верстатів з використанням сучасної вимірювальної техніки та інформаційних технологій [7].

Сучасні методики контролю точності обертання прецизійних шпинделів базуються на безконтактному вимірюванні лінійних зміщень по еталонних поверхнях вимірювальної оправки [3; 4]. У МДТУ «СТАНКІН» В.В. Юркевичем створена система експериментальних досліджень траєкторій формоутворення на токарних верстатах [8]. Як безконтактні датчики переміщення використовувалися вихретокові датчики серії AE2X з частотним діапазоном до 1000 Гц, похибкою вимірювання в межах 3 мкм при 20 ^{0}С.

Вченими технічного університету м. Комсомольськ-на-Амурі точність обертання високошвидкісних шпинделів на газостатичних опорах вимірювалась ємкісними датчиками [9] та методом віброакустичної емісії [10]. В обох випадках для побудови траєкторій сигнал з датчиків повинен пройти низку перетворень, що не забезпечує адекватність відтворення вібраційного сигналу, особливо його високочастотної складової, яка характеризує шорсткість обробленої поверхні. В роботі [11] індійськими вченими здійснювалось вимірювання ємкісним датчиком радіального биття високошвидкісного шпинделя з подальшим аналізом складових радіального биття регресійним методом. Недоліком цього підходу щодо оцінювання точності обертання шпинделя є використання тільки одного датчика та малий робочий діапазон (± 0,25 мм).

Таким чином, рівень існуючих методик контролю точності обертання шпинделів визначається типом вимірювальних приладів, принципом вимірювання, ступенем автоматизації, роздільною здатністю засобів вимірювання та трудомісткістю процесу контролю.

Сучасні прецизійні верстати здатні розвивати частоту обертання шпинделя понад 20000 хв$^{-1}$ та точність центрування шпинделя під дією навантаження з боку процесу різання в межах 0,1…0,5 мкм. Враховуючи постійне зростання вимог до точності обробки та існуючі тенденції розвитку сучасних засобів вимірювання і контролю, актуальним є завдання застосування високоточних, швидкодіючих засобів та відповідних методик визначення точності формоутворюючих рухів металорізальних верстатів.

Мета статті. Метою статті є розроблення методики експериментального визначення траєкторій обертання шпинделя на гідростатичних опорах на основі використання високоточних тріангуляційних лазерних датчиків положення та цифрових засобів оброблення інформації.

Виклад основного матеріалу. Під час розроблення нових та модернізації існуючих конструкцій шпиндельних вузлів необхідно здійснювати визначення їх точнісних параметрів у максимально наближених до реальних умовах експлуатації. При цьому вирішальну роль відіграють точність та частотний діапазон засобів вимірювання. Метод траєкторій є ефективним засобом моделювання реальних динамічних процесів шпиндельних вузлів. Форма і розміри траєкторії руху шпинделя визначаються точнісними параметрами опор, експлуатаційними параметрами, а також видом і характером технологічного навантаження.

Дослідження траєкторій обертання шпинделя здійснювалися на експериментальному стенді (рис. 1) на базі прецизійного токарно-гвинторізного верстата моделі УТ16А, шпиндель якого встановлений на гідростатичних опорах.

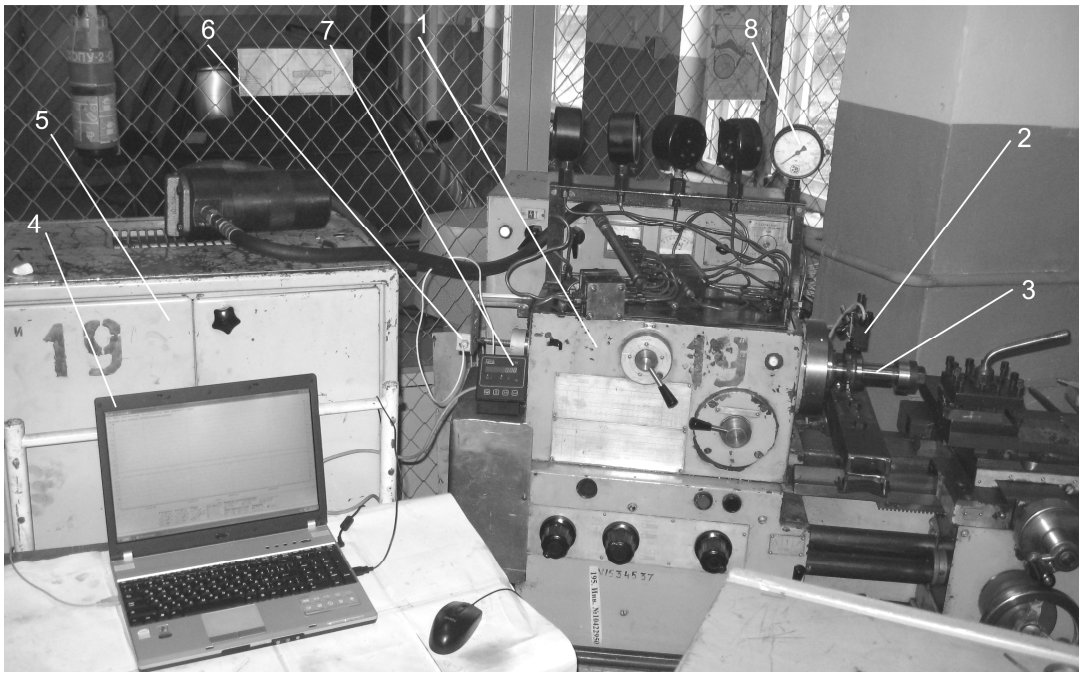


Рис. 1. Загальний вигляд експериментального стенда:
1– прецизійний токарно-гвинторізний верстат УТ16А; 2 – тріангуляційний лазерний датчик;
3 – прецизійна оправка; 4 – ноутбук; 5 – гідростанція; 6 – енкодер;
7 – спеціалізований електронний тахометр; 8 – манометр

Метою експериментальних досліджень було визначення впливу глибини різання, подачі, частоти обертання, тиску в гідростатичних опорах та статичного дисбалансу на показники траєкторій обертання шпинделя.

Змінні вантажі для створення гармонічного навантаження та заготовки зразків-виробів, що оброблювалися під час досліджень, закріплювали на прецизійній оправці, яку встановлювали в конічному отворі шпинделя верстата (рис. 2).

Тиск у карманах гідростатичної опори встановлювали за допомогою регулятора дросельного типу, а контролювали за показаннями манометрів *8*.

Прецизійна оправка має контрольний поясок, з яким взаємодіють лазерні датчики. З метою мінімізації похибки відносного розташування основної бази відносно виконавчих поверхонь оправки, чистову обробку останніх проводили на цьому верстаті, а після оброблення оправка залишалась незмінно закріпленою у шпинделі протягом виконання всієї серії експериментальних досліджень. Це дало змогу забезпечити радіальне биття контрольного пояска в межах 0,5 мкм. Недопустимість систематичної складової похибки обертання шпинделя, обумовленої відхиленнями форми контрольного пояска прецизійної оправки, здійснювалось за способом перевертання [3].

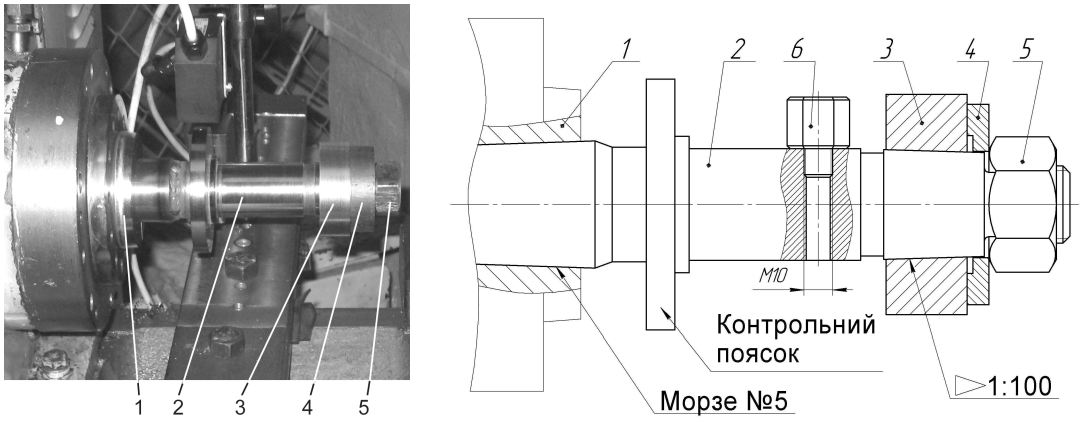


Рис. 2. До опису конструкції та схеми закріплення прецизійної оправки: 1 – шпиндель; 2 – прецизійна оправка; 3 – оброблювана заготовка; 4 – шайба; 5 – гайка; 6 – змінний вантаж

Для дослідження впливу на показники траєкторії шпинделя зовнішнього статичного дисбалансу використовували змінні вантажі п'яти конструктивних виконань (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика змінних вантажів

Номер вантажу	I	II	III	IV	V
Маса, $\cdot 10^{-3}$ кг	49,2	70,9	111,1	142,3	154,4
Координата Yc, 10^{-3} м	7,65	12,18	20,48	27,14	29,37
Ексцентри-ситет e, $\cdot 10^{-3}$ м	27,15	31,68	39,98	46,64	48,87
Дисбаланс, $\cdot 10^{-6}$ кг·м	1336,84	2246,11	4440,98	6636,25	7545,09

На напрямних станини верстата закріплювалась плита *4*, в якій встановлено стійку *3* з двома безконтактними лазерними датчиками *2*, розташованими під кутом 90^0, що відповідає декартовій системі координат (рис. 3).

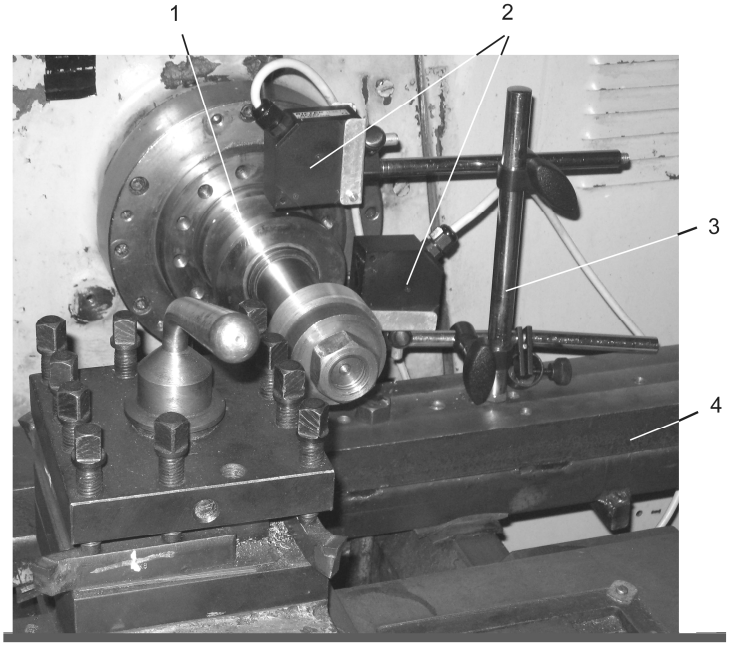
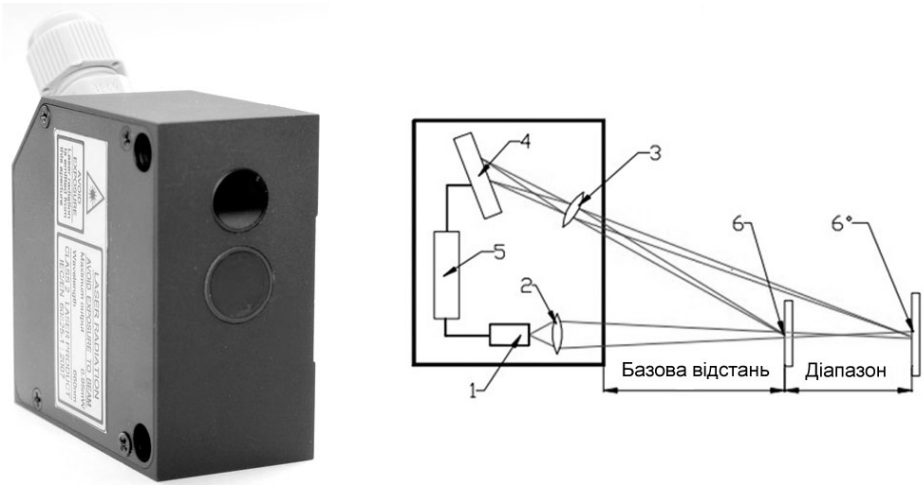


Рис. 3. Схема закріплення лазерних датчиків: 1 – прецизійна оправка; 2 – датчики; 3 – стійка; 4 – плита

Точність взаємного розташування датчиків під кутом 90^0 забезпечувалась наявністю на торці контрольного пояска прецизійної оправки двох рисок, які наносились з використанням універсальної ділильної головки з точністю $\pm 0{,}033^0$. Регулювання положення датчиків здійснювали, суміщуючи промінь лазера з рискою.

Із врахуванням робочих процесів, що відбуваються в технологічній системі верстата, та необхідних параметрів вимірювання (відстань до об'єкта, діапазон вимірювання, роздільна здатність, частота оновлення даних тощо) для безконтактного вимірювання відхилень осі шпинделя використовували безконтактні лазерні тріангуляційні датчики типу РФ603.2-10/2-485-U-IN-AL-CG (рис. 4), які не потребують підсилювальних пристроїв та мають можливість виводу вихідного сигналу як в аналоговій, так і цифровій формі. В основу роботи датчика покладений принцип оптичної тріангуляції [12] (рис. 4, *б*). Випромінювання напівпровідникового лазера *1* фокусується об'єктивом *2* на об'єкті *6*. Розсіяне на об'єкті випромінювання об'єктивом *3* збирається на CMOS-лінійці *4*. Переміщення об'єкта *6-6'* викликає відповідне переміщення зображення. Процесор сигналів *5* розраховує відстань до об'єкта за положенням зображення світлової плями на лінійці *4*.



а *б*

Рис. 4. Лазерний тріангуляційний датчик а) та схема вимірювання відстаней б):
1 – лазер, 2,3 – об'єктиви, 4 – CMOS-лінійка, 5 – процесор, 6 – контрольований об'єкт

Робочий діапазон тріангуляційних лазерних датчиків моделі РФ603.2-10/2-485-U-IN-AL-CG становить 2 мм, лінійність ± 0,002 мм, роздільна здатність 0,2 мкм, максимальна частота дискретизації 9,4 кГц [12].

Реєстрація та відображення сигналів з лазерних датчиків реалізовувалась за допомогою цифрового осцилографа IRIS (рис. 5) та ноутбука з програмним забезпеченням для цифрового оброблення сигналів.

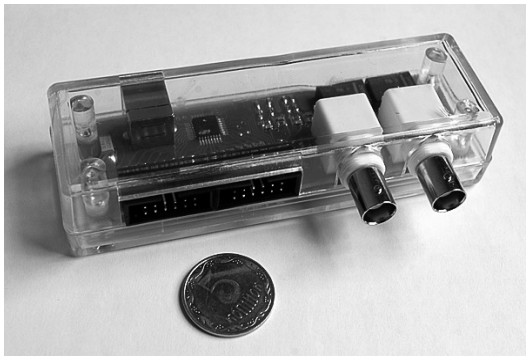


Рис. 5. Загальний вигляд цифрового осцилографа IRIS

Цифрові осцилографи IRIS можуть працювати в режимах двоканального осцилографа, спектр-аналізатора, самописця, 16-и канального логічного аналізатора, 8-и канального логічного генератора. Максимальна частота дискретизації сигналу, що реєструється осцилографом, – 100 кГц [13].

Верстат УТ16А має можливість безступінчастого регулювання частоти обертання шпинделя, числове значення якого фіксувалось за показаннями спеціалізованого електронного тахометра Б-ТМ-НП1210-СК03-ИВ5ВА-И з точністю ± 0,5 хв$^{-1}$. Цей тахометр *2* визначає частоту обертання шпинделя за частотою електричних імпульсів, що надходять від енкодера *1* моделі Э4-16, з'єднаного через пружину *3* та стакан *4* зі шпинделем *5* (рис. 6).

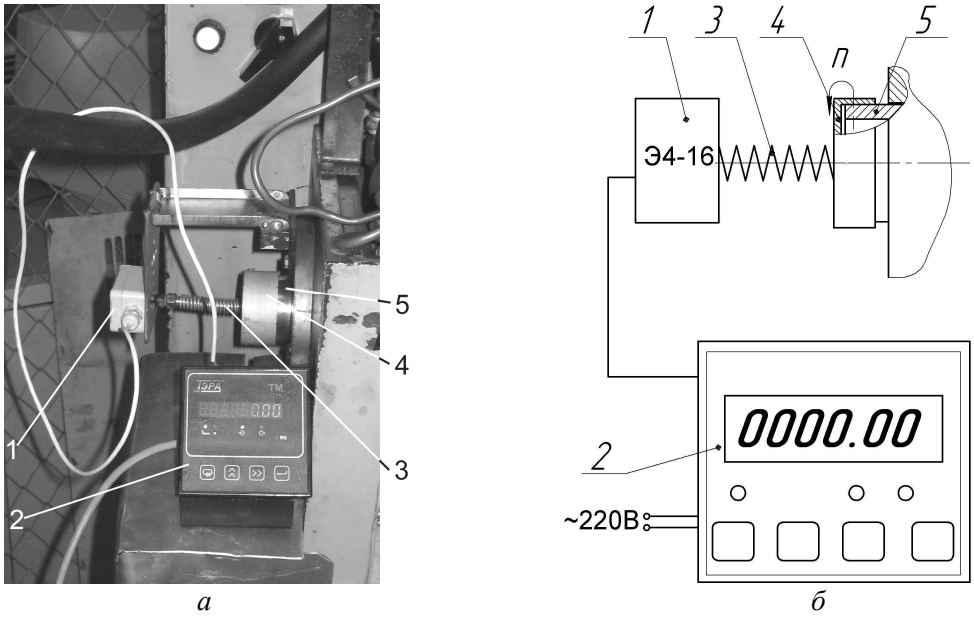


Рис. 6. Загальний вигляд (а) та принципова схема визначення частоти обертання шпинделя (б): 1 – енкодер; 2 – електронний тахометр; 3 – пружина; 4 – стакан; 5 – шпиндель

Перед початком кожної серії експериментів визначалось початкове положення x_0, y_0, точки відбиття лазерного променя кожного з датчиків відносно початку робочого діапазону S (рис. 7):

$$x_0 = \frac{U_{0X}}{U_{max}} \cdot S\,; \qquad y_0 = \frac{U_{0Y}}{U_{\max}} \cdot S\,, \tag{1}$$

де U_{0X}, U_{0Y} – середньоарифметичні значення сигналу з лазерного датчика при необертовому шпинделі та максимальному тиску в гідростатичних опорах, передбаченому серією експериментів, В;

U_{max} – максимальне значення вихідного сигналу з лазерного датчика, U_{max} = 10 В [12];

S – робочий діапазон лазерних датчиків, S = 2 мм.

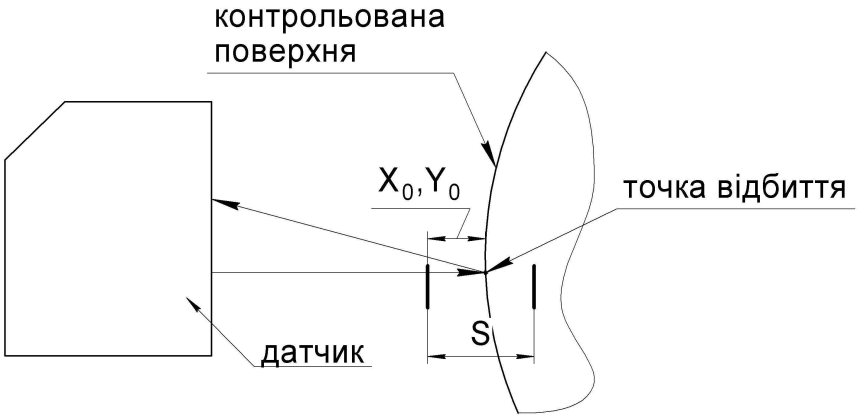


Рис. 7. Схема визначення початкового положення точки відбиття лазерного променя

Частоту дискретизації вимірювань встановлювали пропорційно частоті обертання шпинделя в межах $f_д$ = 200-2500 Гц, що забезпечує під час побудови траєкторій однакову кількість точок за один оберт.

При дослідженнях здійснювали оброблення заготовок зразків-виробів типу диск зі сталі 45, діаметром 80 мм, виготовлених відповідно до вимог стандарту [14]. Заготовки закріплювались на конічній поверхні прецизійної оправки (див. рис. 2). Оброблення здійснювали токарним прохідним прямим різцем з пластинкою з твердого сплаву Т15К6, з кутами $\varphi = \varphi_1 = 45°$. $\alpha = 8°$; $\gamma = 10°$. При цьому реалізовувалась наступна методика проведення експерименту:

– перед проведенням дослідів здійснено планування експерименту методом ортогонального планування 2-го порядку [15], інтервали варіювання та рівні факторів наведено в табл. 2;

Таблиця 2

Рівні варіювання факторів

Інтервал варіювання і рівні факторів	Натуральні значення факторів				
	n, хв$^{-1}$	S, мм/об	t, мм	$D_{ст}$, $\cdot 10^{-6}$ кг·м	p, МПа
Інтервал варіювання	900	0,072	0,4	2195	1,0
Верхня «зіркова точка» (-1,414)	2770	0,23	1,4	7545,09	4,4
Верхній рівень (+1)	2400	0,2	1,2	6636,25	4,0
Нульовий рівень (0)	1500	0,128	0,8	4440,98	3,0
Нижній рівень (-1)	600	0,056	0,4	2246,11	2,0
Нижня «зіркова точка» (-1,414)	230	0,026	0,2	1336,84	1,6

– встановлювали датчики та визначали початкове положення точки відбиття лазерного променя за залежностями (1);

– на конічній поверхні прецизійної оправки закріплювали зразки-вироби;

– відповідно до плану проведення експерименту (див. табл. 2) настроювали верстат та здійснювали оброблення зразків-виробів, фіксуючи лазерними датчиками зміщення шпинделя у двох взаємно ортогональних площинах;

– результати вимірювань записувалися у файл формату «.xls»;

– у програмі Microsoft Office Excel визначали відхилення осі шпинделя в лінійних величинах за залежностями:

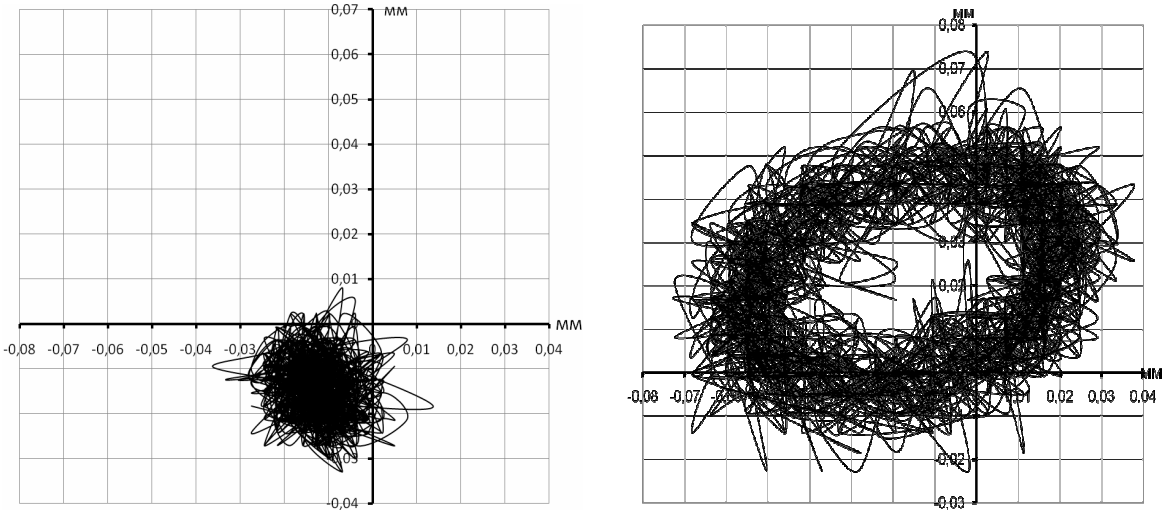
$$x_i = \frac{U_{Xi}}{U_{max}} \cdot S - x_0\,; \qquad y_i = \frac{U_{Yi}}{U_{\max}} \cdot S - y_0\,, \tag{2}$$

де U_{Xi}, U_{Yi} – сигнал з датчика у відповідний момент часу, В;

– здійснювали статистичний аналіз результатів вимірювань за методикою [16];

– засобами графічного редактора Microsoft Office Excel будували траєкторії обертання шпинделя (рис. 8).

Окремі точки траєкторій, що різко виділяються, аналізувалися на належність до однієї генеральної сукупності за критерієм Н.В. Смирнова [16]. Враховуючи, що варіювання режимами різання забезпечувало різну тривалість оброблення, для побудови траєкторій використовували вибірки об’ємом, що відповідають однаковій кількості вимірювань за один оберт шпинделя. Частота дискретизації сигналу на осцилографі встановлювалась з розрахунку забезпечення 50 вимірювань за один оберт шпинделя. Побудову траєкторій здійснювали для 40 обертів шпинделя, тобто об’єм вибірки становив N = 2000, що перевищує значення N_{min} =3 85, рекомендоване в довіднику [16] для рівня значимості α = 0,05, похибок визначення математичного сподівання Δ_m = 0,01 і середньоквадратичного відхилення Δ_σ = 0,01.



а *б*

Рис. 8. Траєкторії обертання шпинделя токарного верстата при різних технологічних навантаженнях та експлуатаційних параметрах:
а – n = 1500 хв–1; t = 0,8 мм; S = 0,128 мм/об, p = 3 МПа, Dст = 1336,84 г·мм;
б – n = 2400 хв–1; t = 1,2 мм; S = 0,056 мм/об, p = 2 МПа, Dст = 6636,25 г·мм;

Оцінювання точності обертання шпинделя здійснювали за статистичними характеристиками параметрів траєкторій:

– математичні сподівання проекцій випадкового вектора зміщень осі шпинделя на осі OX та OY;

– тренд математичного сподівання центра траєкторії відносно геометричної осі гідростатичної опори;

– середньоквадратичне відхилення зміщень осі шпинделя за координатними осями OX та OY;

– поле розсіювання зміщень осі шпинделя за координатними осями OX та OY.

Висновки. Запропонована у статті експериментальна методика дає змогу в умовах дії реальних технологічних навантажень оцінити точність обертання шпинделя за статистичними характеристиками параметрів траєкторії його обертання.

Застосування прецизійних тріангуляційних лазерних датчиків дозволило здійснювати вимірювання зміщень шпинделя у двох взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,2 мкм. Завдяки цифровій формі представлення результати експериментальних досліджень можуть бути використані для подальшого аналізу в математичних пакетах. Зокрема, перспективним напрямком подальших досліджень є доповнення цієї методики спектральним аналізом, що дасть змогу додатково оцінити інші параметри траєкторій обертання шпинделя.

Список використаних джерел

1. *Пуш А. В.* Шпиндельные узлы: качество и надежность / А. В. Пуш. – М. : Машиностроение, 1992. – 228 с.

2. *Станки* металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров: ГОСТ 22267-76. – [Действ. от 1988-01-01]. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 141 с.

3. *Юркевич В. В.* Методы испытаний обрабатывающих станков / В. В. Юркевич // Машиностроитель. – 2006. – № 10. – С. 30-39.

4. *Юркевич В. В.* Испытания, контроль и диагностика металлообрабатывающих станков : монография / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. – Старый Оскол : ООО «ТНТ», 2006. – 552 с.

5. *Соколовский А. П.* Точность механической обработки и пути ее повышения / А. П. Соколовский. – М. : Машгиз, 1951. – 487 с.

6. *Проников А. С.* Программный метод испытания металлорежущих станков / А. С. Проников. – М. : Машиностроение , 1985. – 288 с.

7. *Проников А. С.* Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 559 с.

8. *Юркевич В. В.* Экспертная система для токарной обработки / В. В. Юркевич // Вестник машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 73-76.

9. *Космынин А. В.* Анализ точности вращения высокоскоростных шпинделей с газостатическими опорами / А. В. Космынин, С. П. Чернобай // СТИН. – 2006. – № 6. – С. 10-13.

10. *Контроль* положения шпинделя на газостатических опорах методом виброакустической емиссии / А. С. Хвостиков, А. В. Космынин, В. С. Щетинин и др. // Вестник ОГУ. – 2012. – № 9 (145). – С. 134-137.

11. *S. Denis Ashok.* Regression method for identifying spindle radial errors of a miniaturized machine tool / S. Denis Ashok G. L. Samuel // Journal of Studies on Manufacturing. – 2010. – Volume 1. – Issue 1. – P. 26-33.

12. *Триангуляционные* лазерные датчики. Серия РФ603. Руководство по эксплуатации. – Минск : ООО «РИФТЭК», 2011. – 46 с.

13. *Цифровой* осциллограф IRIS. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. –К. : ООО «Видео Интернет Технологии», 2007. – 12 с.

14. *Станки* металлорежущие. Образцы-изделия для проверки точности обработки. Общие технические требования: ГОСТ 25443-82. – [Действ. от 1982-09-09]. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 5 с.

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

16. *Степнов М. Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний : справочник / М. Н.Степнов. – М. : Машиностроение, 1985. – 232 с.

УДК 621.001.2; 621.74.042

І.О. Шуляр, асистент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АРМОВАНОЇ ЗОНИ ВИЛИВКІВ БУРОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

Проаналізовані різноманітні способи одержання виливків заготовок бурових доліт з покращеними властивостями озброєння. Розроблено технологічний процес для підвищення якості одержання відцентрово-армованих виливків, особливістю якого є використання кільцевих вакуумованих контейнерів, виготовлених з алюмінієвої фольги і начинених карбідом вольфраму, з яких армуючі частинки попадають у робочу зону озброєння. У результаті одержано рівномірний розподіл армуючих частинок у робочій зоні. Під час оброблення експериментальних даних одержані аналітичні залежності розчинності карбіду вольфраму в рідкому металі від часу контакту з ним. Отже, задаючись потрібним легуванням металозв'язки армованої зони, можна визначити необхідний час контакту твердого сплаву з рідкою сталлю. З виявлених робочих зон твердості, які характеризують якість композиційних зразків, відсутня слаболегована зона, що забезпечує поліпшення механічного оброблення металу основи.

Ключові слова: *технологія, відцентрове литво, виливок, армування, породоруйнівний інструмент.*

Проанализированы различные методы получения отливок заготовок буровых долот с улучшенными свойствами вооружения. Разработан технологический процесс для улучшения качества получения центробежно-армированных отливок, особенностью которого является использование кольцевых вакуумированных контейнеров, изготовленных из алюминиевой фольги и наполненных карбидом вольфрамом, с которых армирующие частицы попадают в рабочую зону вооружения. В результате получено равномерное распределение армирующих частиц в рабочей зоне. При обработке экспериментальных данных получены аналитические зависимости растворимости карбида вольфрама в жидкой стали от времени контактирования с ней. Итак, задаваясь необходимым легированием металлосвязки армированной зоны, можно определить необходимое время контакта твердого сплава с жидкой сталью. Из выявленных рабочих зон твердости, которые характеризуют качество композиционного образца, отсутствует слаболегированная зона, что ведет к улучшению механической обработки металла основы.

Ключевые слова*: технология, центробежное литье, отливок, армирование, породоразрушающий инструмент.*

Various methods for obtaining castings billets with improved properties for arms drill bits were analyzed. A process for improving the quality of reception-reinforced centrifugal castings feature of which is the use of ring evacuated container made of aluminum foil and packed tungsten carbide was designed, including reinforcing particles putting in the work area weapons. The

result was obtained uniform distribution of reinforcing particles in the working area. In processing the experimental data obtained analytical dependence of solubility of tungsten carbide in the liquid metal on contact time with it. So wondering desired doping metal reinforced zone can determine the required contact time carbide with liquid steel. Of the identified work areas rigidity that characterizes the quality of composite samples, no low dopped zone, leading to improved metal base.

Key words: *technology, centrifugal casting, casting, reinforcing, drilling tool.*

Постановка проблеми. Зростаючі темпи розвитку добувних галузей вимагають збільшення об'ємів буріння, зокрема на нафту та газ. У комплексі технічних засобів для буріння серед бурового обладнання одне з центральних місць належить породоруйнівному інструменту, а саме буровому долоту. Збільшення об'ємів видобутку корисних копалин та забезпечення енергетичної безпеки нашої держави по-новому ставить питання про інтенсифікацію наукових досліджень, розроблення і швидке впровадження у виробництво нових, більш ефективних технологій виготовлення породоруйнівного інструменту.

Під час створення нових технологій важливе значення має комплексне об'єднання досягнень відомих технологічних процесів. До найбільш прогресивних технологічних процесів виготовлення бурових породоруйнівних інструментів відносяться процеси композиційного армування. Довговічність композиційно-армованого озброєння може бути значно підвищена завдяки створенню принципово нових технологічних процесів для формування якісної армованої робочої зони породоруйнівних інструментів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними технологічними методами підвищення якості озброєння бурових доліт є армування. Розрізняють технологічні процеси поверхневого, об'ємного, відцентрового і композиційного армування [1].

При поверхневому армуванні нагрівають верхні шари металу озброєння бурового долота і в розплавлений метал занурюють зерна твердого сплаву, які закріплюються в ньому під час застигання і кристалізації. Джерелом нагрівання служать струми високої частоти, ацетилен-кисневе полум'я, атом-водневе полум'я, плазма, електрична дуга [2]. Суть процесу армування полягає у взаємодії твердого сплаву під час нагрівання струмами високої частоти з розплавленим металом озброєння, а під час нагрівання ацетилен-кисневим полум'ям з металом армуючої стрічки або трубки. Вимоги, які ставляться до поверхнево-армованої поверхні, в тому, щоб зберегти вихідні властивості твердого сплаву, ефективно закріпивши його в металозв'язці та забезпечити міцне з'єднання армованої зони з основним металом, оптимально легувавши її металозв'язку.

Для технологічного процесу поверхневого армування через локальне нагрівання поверхні озброєння неможливо регулювати час і температуру нагрівання, а також час контакту частинок твердого сплаву з рідким металом. Тому поверхневе армування не дозволяє ефективно регулювати властивості озброєння залежно від умов його експлуатації, а служить лише для закріплення зерен твердого сплаву. Неможливо також регулювати структуру армованої зони, тому що відомі технологічні процеси не можуть забезпечити необхідний час контакту твердого сплаву з рідкою сталлю.

При об'ємному армуванні частинки твердого сплаву у вигляді зерен, пластин, брикетів або кусків довільної форми, які містяться у спеціальних каркасах, розташовуються всередині озброєння бурових доліт, а потім заливаються розплавленим металом – для литих, або ж заплавляються основним металом для кованих заготовок. Перевагами цього технологічного процесу є можливість дозування твердого сплаву, розташування його всередині озброєння в напрямках найбільшого зношування інструменту. Результати промислових випробувань бурових доліт [3], озброєння яких було виготовлено методом об'ємного армування, показали їх вищу стійкість і працездатність у порівнянні із серійними. Однак через велику трудомісткість та складність реалізації цього технологічного процесу, він не знайшов широкого промислового використання.

Аналіз відомих технологічних процесів показав, що для зміцнення озброєння породоруйнівного інструменту перспективним є метод відцентрового армування, який дозволяє

суміщати процеси формування й армування озброєння, а також одержувати озброєння шарошок бурового інструменту на основі композиційних матеріалів, роль яких у техніці зростає з кожним роком. Технологічні процеси відцентрового армування [4] полягають у суміщенні методів відцентрового литва, литва за виплавлюваними моделями й об'ємного армування. Згідно з технологічним процесом відцентрового армування в ливарну форму, яка обертається, одночасно з рідким металом вводять частинки твердого сплаву. Під дією відцентрових сил у зв'язку з тим, що твердий сплав має густину більшу за густину рідкого металу основи, він переміщається до периферійної частини форми й утворює армований об'єм виливка. У процесі взаємодії литого карбіду вольфраму з рідкою сталлю утворюється металозв'язка, яка надійно закріпляє у собі зерна твердого сплаву, а подальша кристалізація виливка приводить до утворення армованого в об'ємі озброєння бурових доліт.

Використання методу відцентрового литва дозволяє підвищити механічні характеристики металу заготовки, литва за виплавлюваними моделями – одержувати озброєння різноманітної конфігурації і розмірів, а об'ємного армування – використовувати гранульований твердий сплав, який, проходячи через рідкий метал, очищається від окислів і концентрується в напрямах найбільшого зношування озброєння бурових доліт.

Технологічні процеси композиційного армування [5] складають серію методів: з накладанням вібрацій, магнітного поля, електрошлакового армування в кокіль і керамічну оболонку, електрошлакового просочування і т. д. Цими методами досягається оптимальне об'ємне співвідношення твердої і зв'язуючої складових і тим самим створюється комплекс необхідних диференційних властивостей робочої частини, які задовольняють складним умовам експлуатації доліт. Методи композиційного армування розширюють можливості застосування однієї і тієї ж конструкції озброєння доліт для буріння гірських порід різної твердості.

Під час вибору способу композиційного армування важливою є форма озброєння породоруйнівних інструментів. Виходячи зі специфіки технологічних процесів композиційного армування, форма озброєння може бути класифікована як закритий або відкритий об'єм [6]. Під закритим об'ємом розуміють локальний об'єм озброєння породоруйнівного інструменту, в якому частинки твердого сплаву під час армування не можуть переміщатися за його межі, в іншому випадку одержуємо відкриті об'єми. Основним при композиційному армуванні відкритих об'ємів є ефективність управління розподілом частинок твердого сплаву в об'ємі озброєння породоруйнівного інструменту.

При відцентровому армуванні закритих об'ємів відносно однієї осі обертання сили інерції приводять до розподілу армованих частинок, в основному, лише по окремих периферійних поверхнях найбільш віддалених від вибраної осі обертання ливарної форми. Для більш раціонального розподілу армуючого матеріалу і збільшення можливостей керування параметрами технологічного процесу відцентрового армування здійснюється обертання ливарної форми відносно двох взаємно перпендикулярних осей [7; 8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Отже, відомі технології не дозволяють повною мірою здійснювати рівномірне армування робочої зони озброєння породоруйнівного інструменту.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розроблення нового технологічного процесу одержання виливок бурових доліт з покращеними фізико-механічними властивостями озброєння.

Виклад основного матеріалу. Поставлене завдання вирішується завдяки розробленню технологічного процесу виготовлення відцентрово-армованих виливків деталей бурового інструменту з використанням додаткової операції, такої як встановлення алюмінієвих контейнерів, наповнених зернистим твердим сплавом, по периметру керамічної ливарної форми в її порожнині (рис. 1). Виготовлення керамічної форми є багатоетапним процесом і включає у себе такі операції: виготовлення виплавлюваної моделі

із залитими в ній алюмінієвими контейнерами, облицювання моделі вогнетривким покриттям, витоплювання модельної суміші, просушування та прожарювання в печі.

Для виготовлення модельної суміші використовували 50 % парафіну (ГОСТ 23683-89), 40 % стеарину (ГОСТ 6484-96) і 10 % каніфолі (ГОСТ 19113-84), яка дає зменшення усадки під час затвердіння модельної суміші. Вихідні матеріали очищали від сторонніх домішок і забруднень, завантажували в термостат, розплавляли і нагрівали до температури 90-100 ^{o}C. Кільцеві контейнери виготовляли з алюмінієвої фольги, начиняли литим карбідом вольфраму грануляцією (0,9-0,63 мм) або (1,6-0,9 мм) (згідно з розробленим нами способом [9]) і здійснювали їх вакуумування. У пресформу навпроти вінців зубів озброєння встановлювали кільцеві контейнери *3*. Відфільтровану модельну суміш охолоджену до 52-55 ^{o}C запресовували всередину пресформи. Температура рідкої модельної суміші є значно нижча за температуру плавлення алюмінієвої фольги контейнера, тому після запресування модельної суміші ці кільцеві контейнери залишалися цілими – нерозплавленими і неушкодженими. Охолоджували пресформу на столі з водяним охолодженням 3-5 хв, розбирали і витягнута з неї модель далі охолоджувалась у ванні з холодною водою не менше ніж 2 год. Просушену модель ставили в холодильник. Для приготування суспензії для облицювання моделі в баку перемішували 18,5 % етилсилікату, 10 % етилового спирту, 18 % води, 0,1 % соляної кислоти з 53,4 % маршаліту до одержання однорідної консистенції. В'язкість суспензії вимірювали по віскозиметрі ВЗ-4. Шари облицювання наносилися за температури суспензії 20-22 ^{o}C. Модель плавно занурювалася у суспензію і змочувалася нею таким чином, щоб на моделі не залишалося непокритих місць. Після цього покриту модель виймали і присипали піском. Висушування керамічного покриття здійснювалося у такому порядку: на повітрі за кімнатної температури – 40 хв; в аміаку – 20 хв і провітрювання після висушування – 20-30 хв. Залежно від розмірів керамічної форми, на неї наносилося 3-5 шарів вогнетривкого покриття. Порядок і техніка нанесення вогнетривкого покриття аналогічна для всіх шарів. Витоплювання модельної суміші відбувалося в підкисленій воді за температури 85-95 ^{o}C. Процес витоплювання закінчувався, коли на поверхню не спливала модельна суміш з порожнини керамічної форми. Всередині керамічної форми залишалися кільцеві контейнери з релітом. Висушування одержаної керамічної форми відбувалося на повітрі протягом 24 годин за кімнатної температури. Щоб запобігти появі газових раковин у виливку, керамічна форма прожарювалася у печі за температури 500-600 ^{o}C.

Формування керамічної форми в опоці відбувалося за допомогою центруючого пристрою. На дно опоки засипався шар кварцового піску товщиною 30 мм, на нього встановлювалася керамічна форма й обсипалася піском майже на всю її висоту. Керамічна форма в опоці фіксувалася шаром суміші кварцового піску і рідкого скла, яка після сушіння і прожарювання форми ставала твердою та газопроникною. Заформована опока прожарювалася в печі за температури 500-600 ^{o}C і вистуджувалася. Готова опока закріпляється на планшайбі відцентрової ливарної машини (на рис. 1 не показана).

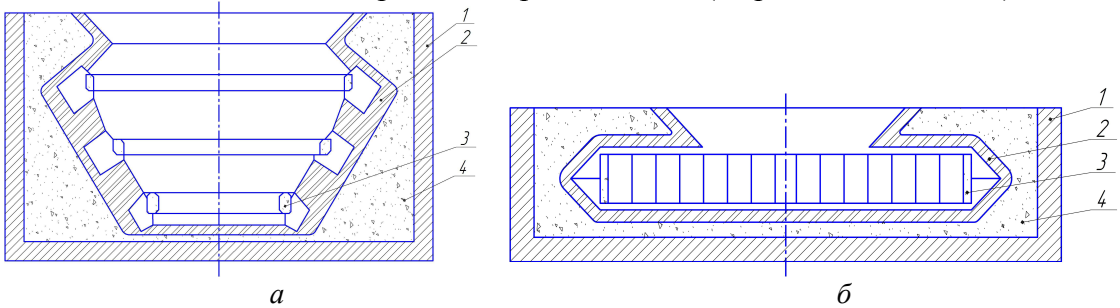


Рис. 1. Опока з керамічною формою для шарошки бурового долота (а) і для диска бурового долота (б): 1 – опока; 2 – керамічна ливарна форма; 3 – кільцевий контейнер, заповнений карбідом вольфраму; 4 – кварцовий пісок

Суть процесу армування із застосуванням легкоплавких контейнерів полягає в наступному. Опоку із заформованою ливарною формою з кільцевими контейнерами встановлювали і закріплювали на шпинделі відцентрової ливарної машини із вертикальною віссю обертання. В нерухому ливарну форму заливався розплавлений метал за температури ~ 1500 °С з максимально можливою швидкістю, надавалась витримка формі протягом 0,4-1 хв, а потім здійснювалось обертання з частотою 2500-3000 об/хв. Технологічний цикл процесу відцентрового армування зображений на рис. 2.

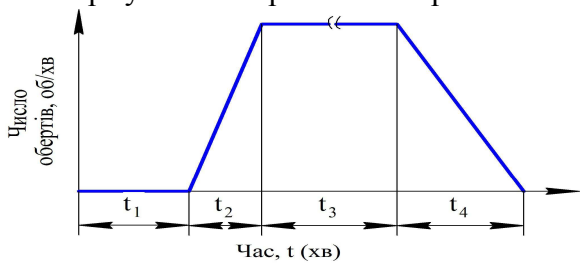


Рис. 2. Технологічний цикл формування армованого виливка з використанням оболонкових контейнерів: t_1 – час заливання рідкого металу, розчинення оболонки контейнерів і витримки ливарної форми в спокою; t_2 – час запускання і розгону відцентрової машини (ливарної форми); t_3 – час обертання ливарної форми зі сталою частотою; t_4 – час гальмування відцентрової машини

Під час заливання ливарної форми рідким металом легкоплавка оболонка контейнера розплавлялася, твердосплавні частинки за рахунок густини (ρ_{WC} = 16,4 г/см^3) у два рази більші, ніж у металі основи – сталі 18ХН2МФЛ (ρ_{CT} = 7,7 г/см^3), під власною вагою переміщувалися в нижні об’єми розплаву. Під час надання ливарній формі обертового руху зерна твердого сплаву під дією відцентрових сил переміщувалися у розплаві до периферії форми, заповнюючи й армуючи необхідні об’єми робочої зони озброєння виливка бурового інструменту.

Процес переміщення литого карбіду вольфраму в рідкій сталі супроводжується змочуванням його рідкою сталлю, розчиненням і взаємодією з розплавом. Після завершення кристалізації металу виливка отримуємо виливок породоруйнівного інструменту з об’ємно-армованим озброєнням. У результаті часткового розчинення литого карбіду вольфраму відбувається також локальне легування металу матриці з утворенням зносостійких структур з високою в’язкістю та твердістю.

Для якісного оцінювання армованої зони виливка застосовували планіметричний метод. Для цього з армованого озброєння виливка вирізали плоскі зразки і з них виготовляли мікрошліфи. Для виявлення армуючих частинок робочу поверхню мікрошліфів травили у 10 %-вому розчині азотної кислоти в етиловому спирті. Підготовлену таким чином поверхню мікрошліфів сканували, обробляли графічним редактором (Fotoshop) у контрастний режим, а після в графічному редакторі (КОМПАС, Solid Works) підраховували площу, яку займають включення армуючих частинок карбіду вольфраму (реліту) та пропорційно обчислювали об’єм армуючих частинок у робочій зоні виливку.

Для кількісної оцінки якості армування необхідно знати кількість твердого сплаву, який знаходиться у досліджуваному об’ємі зразка. Кількість твердого сплаву визначається за формулою:

$$P_{m.c.} = P_1 \frac{\gamma_{m.c.}}{\gamma_{c.}},$$

де $P_{m.c.}$ – вага твердого сплаву, який знаходиться в зразку, г;

$\gamma_{m.c.}$, $\gamma_{c.}$ – питома вага твердого сплаву і сталі відповідно, г/см^3;

$P_1 = P_з - P_c$ – різниця між вагою зразка і вагою аналогічного зразка, виготовленого зі сталі;

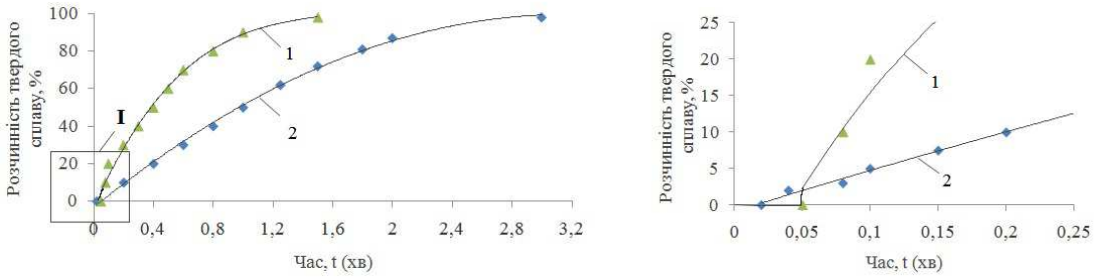
$$P_1 = V_з(\gamma_з - \gamma_{с.}),$$

де $V_з$ – об'єм армованого зразка, см^3; $\gamma_з$ – питома вага армованого зразка, г/см^3.

Вимірювання об'ємів зразків здійснювали на установці, принцип роботи якої полягає в точному визначенні витісненого об'єму рідини під час занурення в неї зразка [10].

При металографічних дослідженнях на оптичному мікроскопі зразків, виготовлених із виливок, отриманих за розробленим технологічним процесом, виявили зони твердості робочої частини озброєння. Для вимірювання мікротвердості використовувався метод дряпання [11]. Робота установки для порівняльного оцінювання мікротвердості дряпанням полягає у безперервному нанесенні подряпин на поверхні зразка навантаженою алмазною пірамідкою і вимірюванні їх ширини. Ці дані реєструвалися іскровим самописцем у безперервному режимі. Для врахування впливу нерівностей поверхні зразка і похибок його встановлення на столику приладу на значення мікротвердості попередньо записувалася профілограма поверхні по наміченій траєкторії ненавантаженою пірамідкою, а мікротвердість визначалася повторним дряпанням по цій же траєкторії. Різниця між двома кривими давала безперервну картину розподілу мікротвердості по поверхні зразка в досліджуваному напрямку. Встановили, що зони твердості озброєння поділяються на ослаблену, слабоармовану, армовану і зону основного металу. Ослаблена зона при поверхні виливка має найменшу мікротвердість, що пояснюється швидким застиганням рідкого металу під час контакту зі стінкою ливарної форми. Слабоармована зона характеризується незначним розчиненням зерен твердого сплаву, а отже, низькою ударною в'язкістю. Основна зона, яка визначає якість композиційного озброєння, характеризується максимальною концентрацією частинок твердого сплаву, а регулюючи розчинення зерен, можна одержати оптимальну структуру металозв'язки, в якій вони закріплені.

За експериментальними даними отримано графіки залежності розчинності твердого сплаву від часу контакту реліту з рідкою сталлю (рис. 3).



а *б*

Рис. 3. Розчинність частинок твердого сплаву різної грануляції залежно від часу його контакту з рідкою сталлю: а – загальний вигляд графічних залежностей; б – вигляд I у збільшеному масштабі з рис. а; 1 – грануляція твердого сплаву (0,9-0,63 мм); 2 – грануляція твердого сплаву (1,6-0,9 мм)

Аналіз отриманих графічних залежностей свідчить, що легування основного металу армованої зони вольфрамом на 40-45 % (зафіксована найвища стійкість інструменту до ударно-абразивного спрацювання), відбувається за час витримки між початком заливання легкоплавких контейнерів рідкою сталлю і початком обертання форми у межах 0,4-1,0 хв залежно від грануляції частинок твердого сплаву. Оскільки частинки твердого сплаву знаходяться в контейнерах, то їх розчинення відбувається із затримкою на час, необхідний для розплавлення оболонки контейнерів. З графіка видно, що скоріше розчиняються контейнери, начинені частинками карбіду вольфраму, грануляцією (1,6-0,9 мм). Контейнери з твер-

дим сплавом є свого роду холодильниками, які обмежують час контакту рідкого металу з порівняно дрібними частинками, оскільки збільшення тривалості контакту останніх з рідкою сталлю більше 3,0 хв приводить до повного розчинення твердого сплаву.

У результаті математичної обробки результатів експерименту, наведених на рис. 3, встановлено аналітичні залежності для розрахунку розчинності твердого сплаву різної грануляції в рідкій сталі (k, %), які описують процес при $k_{1,2}(t) \geq 0$ (без урахування часу розчинності контейнерів):

$k_1 = 23,822t^3 - 108,38t^2 + 176,48t - 3,058$ – для грануляції твердого сплаву (0,9-0,63 мм);

$k_2 = -10,184t^2 + 64,68t - 3,3103$ – для грануляції твердого сплаву (1,6-0,9 мм),

де t – час контакту частинок твердого сплаву з рідкою сталлю, хв.

Задаючись таким чином потрібним ступенем легування металозв'язки армованої зони, можна визначити необхідний час контакту твердого сплаву з рідкою сталлю. Так, наприклад, для шарошки бурового долота ВД.394-Т, знаючи відстань, яку необхідно пройти частинкам реліту в рідкому металі і швидкість обертання ливарної форми – 3000 об/хв, можна визначити час контакту під час переміщення їх під дією відцентрових сил, який буде рівним t = 0,04 с. За такий короткий час розчинення частинок твердого сплаву в рідкому металі є незначним.

Отже, загальний час контакту частинок твердого сплаву з рідким металом визначається тільки часом контакту під час переміщення твердого сплаву під дією власної ваги або часом витримки між початком заливання кільцевих контейнерів рідким металом і початком обертання форми.

Число обертів відцентрової машини під час армування вибирається залежно від діаметра і конфігурації виливок, розмірів армуючих частинок і є визначальним для розподілу зерен литого карбіду вольфраму в об'ємі зубів та вінців шарошки, формування зовнішнього неармованого шару металу, характеру руху зерен карбіду вольфраму в рідкій сталі і, таким чином, для забезпечення отримання потрібної концентрації останніх у робочій зоні озброєння бурового інструменту.

Висновки і пропозиції. Підвищення якості виливок досягається за рахунок використання легкоплавких контейнерів, наповнених частинками твердого сплаву, за допомогою яких армуючі компоненти попередньо розміщуються власне в зоні озброєння породоруйнівного інструменту. При цьому:

– не відбувається легування карбідом вольфраму металу корпусної частини інструменту, яка підлягає подальшому механічному обробленню;

– не утворюється слаболегована зона між основним металом корпусу й армованою зоною;

– зерна твердого сплаву після розплавлення кільцевих контейнерів, в яких вони знаходяться, під дією відцентрових сил переміщуються у периферійні об'єми ливарної форми, які необхідно армувати;

– зерна твердого сплаву змочуються рідким металом основи по всій поверхні, очищуються від окислів, частково розчиняються і рівномірно легують основний метал матриці, зберігаючи при цьому свої вихідні властивості, та надійно закріплюються в метал матриці;

– збільшення часу контакту твердого сплаву з рідким металом у стані спокою забезпечує достатнє локальне легування металу матриці армованої зони;

– застосування описаної технології дозволяє підвищити стійкість оснащення породоруйнівних інструментів до абразивного та ударно-абразивного спрацювання в 1,2-1,4 разу.

Рекомендуємо застосувати описану технологію для виготовлення широкого спектра породоруйнівних та бурових інструментів у промислових масштабах.

Список використаних джерел

1. *Бугай Ю. Н.* Центробежно-армированный породоразрушающий буровой инструмент / Ю. Н. Бугай, И. В. Воробьев. – Львов, 1989. – 208 с.

2. *Гасанов А. П.* Композиционные материалы, применяемые в конструкциях скважинного режущего инструмента / А. П. Гасанов // Повышение эффективности работы скважинного режущего инструмента, армированного композиционным материалом. Сер.: ХМ-43 ЦИНТИХИМнефтемаш. – М., 1979. – С. 2-12.

3. *Бабаев О. К.* Объемное армирование забойного инструмента / О. К. Бабаев // Сварочное производство. – 1980. – № 4. – С. 17-18.

4. *А. с. 992120 СССР*, МКИ^{3} B22 D 19/02. Способ получения армированных отливок / [Ю. Н. Бугай, К. А. Крылов, А. Н. Николаев и др. (СССР)]. – № 3288959/22-02 ; заявл. 13.05.81 ; опубл. 30.01.83, Бюл. № 4.

5. *А. с. 1494607* СССР, МКИ^{3} B22 D 19/02. Способ центробежного объемного армирования отливок / [Ю. Н. Бугай, К. Б. Кацов, О. И. Кантор и др. (СССР)] ; не подлежит опубл. в открытой печати. – 3 с.

6. *Бугай Ю. Н.* Разработка научно-прикладных основ повышения долговечности вооружения породоразрушающего бурового инструмента, оснащенного локальными композиционными материалами на стальной металлосвязке: дис. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук : 05.02.08 / Ю. Н. Бугай. – М., 1985. – 514 с.

7. *Шуляр І. О.* Відцентрове армування озброєння бурових інструментів / І. О. Шуляр, В. В. Кустов, Л. Я. Роп'як // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : друга Міжнар. наук.-практ. конф. (23-25 трав. 2012 р.): тези доп. – Чернігів, 2012. – С. 29.

8. *А. с. 1585061* СССР, B22D 13/02. Устройство для центробежного литья / Ю. Н. Бугай, Ю. Д. Петрина, Б. О. Борущак и др. (СССР). – № 4451046/31-02 ; заявл. 29.06.88 ; опубл. 15.08.90, Бюл. № 30.

9. *А. с. 1001573* СССР, B22D 19/02. Способ получения армированных оливок / [Ю. Н. Бугай , Э. Б. Милевский, Р. Т. Карпик, И. О. Загайдук и др. (СССР)]. – № 3216252/22-02 ; заявл. 15.12.80 ; не подлежит опубл. в открытой печати. – 8 с.

10. *А. с. 257108* СССР, МКИ^{6} G01 F 17/00, G01 N 3/56. Устройство для измерения износа / А. А. Дергунов, А. И. Педько. (СССР). – № 1234571/25-28 ; заявл. 25.04.68 ; опубл. 11.11.69, Бюл. № 35.

11. *Бугай Ю. Н.* Методика сравнительной оценки микротвердости царапанием / Ю. Н. Бугай, К. А. Крылов, К. П. Ефремова // Заводская лаборатория. – 1978. – Т. 44, № 10. – С. 1267-1269.

РОЗДІЛ IV. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.01.6

Г.П. Болотов, д-р техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ НАГРІВУ ТЛІЮЧИМ РОЗРЯДОМ В УМОВАХ ЗВАРЮВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Здійснено аналіз процесу нагріву тліючим розрядом середнього тиску як теплового об'єкта керування. Охарактеризовано основні збурення, що негативно впливають на стабільність процесу. Визначено основні керуючі дії та їх зв'язок із абсолютними та питомими енергетичними характеристиками тліючого розряду.

Ключові слова**:** *тліючий розряд, нагрів, об'єкт керування.*

Произведен анализ процесса нагрева тлеющим разрядом среднего давления как теплового объекта управления. Охарактеризованы основные возмущения, негативно влияющие на стабильность процесса. Определены основные управляющие воздействия и их связь с абсолютными и удельными энергетическими характеристиками тлеющего разряда.

Ключевые слова*: тлеющий разряд, нагрев, объект управления.*

The analysis of the process of heating medium pressure glow discharge as thermal control object. Describes major disturbances that affect the stability of the process. The basic control actions and their relation to the absolute and specific characteristics of the glow discharge.

Key words*: glow discharge, heating, control object.*

Постановка проблеми. У промисловості знаходять все більш широке застосування зварні з'єднання складної форми, виконані з однорідних та різнорідних металів та сплавів, що мають високі механічні та експлуатаційні характеристики, але обмежену здатність до зварювання. Для отримання таких з'єднань найбільш ефективно застосовуються способи зварювання тиском, зокрема, дифузійне зварювання без розплавлення вихідних матеріалів, що здійснюється одночасно по значній площі без помітної деформації вихідних заготовок. Це вимагає розроблення та застосування джерел енергії, що мають невисокий коефіцієнт зосередженості, забезпечують плавне регулювання термічного циклу і мають адаптивність до зміни номенклатури виробів.

Результати попередніх досліджень. Серед застосованих нині для дифузійного зварювання джерел енергії (радіаційні, індукційні, електроконтактні) найбільш повно вказаним вимогам відповідає нагрів виробів тліючим розрядом, що горить у середовищі захисних газів при тисках, нижче атмосферного [1]. Дослідження, виконані у різні часи В.С. Ваніним, Д.І. Котельниковим, І.М. Мухою, Є.О. Жиловим та ін., показали високу ефективність та перспективність використання тліючого розряду як інструменту та джерела нагріву в процесах фізико-технічного оброблення та з'єднання металів. Технологічні властивості іонного нагріву роблять ефективним його застосування під час зварювання виробів як відносно простої, так і складної форми у серійному, одиничному і ремонтному виробництвах. Однак подальший розвиток і широке промислове застосування зварювання в тліючому розряді на сьогодні обмежуються недостатньо розвиненими уявленнями щодо механізму нагріву тліючим розрядом середніх тисків та засобів керування його енергетичними характеристиками, нестабільністю якісних показників з'єднань та недостатньою продуктивністю процесу.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз процесу нагріву тліючим розрядом в умовах зварювання як теплового об'єкта керування, що сприятиме вдосконаленню засобів регулювання енерговиділенням у розрядній плазмі і підвищенню техніко-економічних характеристик зварювання в плазмі тліючого розряду.

Виклад основного матеріалу. Дифузійне зварювання відноситься до термомеханічних процесів, які забезпечують як тепловий, так і силовий вплив на деталі, що сполучаються. Однак для створення необхідного зусилля стискання деталей застосовують, як правило, типові схеми і конструктивні рішення. Тому принципова відмінність способів

дифузійного зварювання полягає у фізичній природі джерела нагрівання і теплового впливу на виріб. Це дозволяє обмежитися розглядом процесу нагрівання і зварювання як теплового об'єкта, що характеризується певною послідовністю перетворення енергії, зовнішніми і внутрішніми факторами, які впливають на його функціонування [2].

В умовах нагріву тліючим розрядом деталі, що зварюється, є один з електродів розряду – заземлений катод. Катодна пляма, через яку здійснюється введення теплової енергії у зварювані вироби, розташовується на бічних поверхнях деталей, внаслідок чого тліючий розряд є поверхневим джерелом теплоти. Це обумовлює такі особливості нагрівання в умовах дифузійного зварювання, як:

1) нагрів зварних з'єднань (зварного контакту) здійснюється за допомогою теплопровідності від зовнішньої поверхні виробу, що сприймає енергію джерела тепла;

2) нагрівання виробу, що зварюється, пов'язане у багатьох випадках із одночасним нагріванням пристосувань, які забезпечують його стиснення, що обумовлює енергетичну надмірність процесу.

Для зниження втрат енергії зварювальний нагрів здійснюють, як правило, нормальним тліючим розрядом, в якому катодна пляма має обмежені розміри, що зменшує об'єм деталей, який піддається прямому нагріванню. Аномальний тліючий розряд, в якому катодна пляма покриває повністю поверхню деталей і частково (або також повністю) складальні пристосування, використовується, зазвичай, при хіміко-термічній або термічній обробці.

Процес нагріву тліючим розрядом, аналогічно до інших способів зварювання (дугове, електронно-променеве, електрошлакове та ін.), що включають термічну складову, може бути представлений як результат функціонування системи "джерело живлення-джерело нагріву-виріб" (рис. 1) [3].

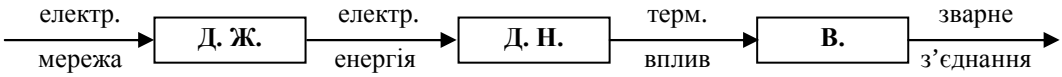


Рис. 1. Узагальнена схема зварювального процесу

Для вивчення особливостей технологічного процесу нагріву деталей як об'єкта керування необхідно деталізувати наведену узагальнену схему з урахуванням основних взаємозалежностей, властивих цьому способу нагріву. Схема процесу нагріву тліючим розрядом з урахуванням можливих функціональних взаємозв'язків між окремими її елементами може бути представлена у вигляді двохконтурної електротермічної системи (рис. 2):

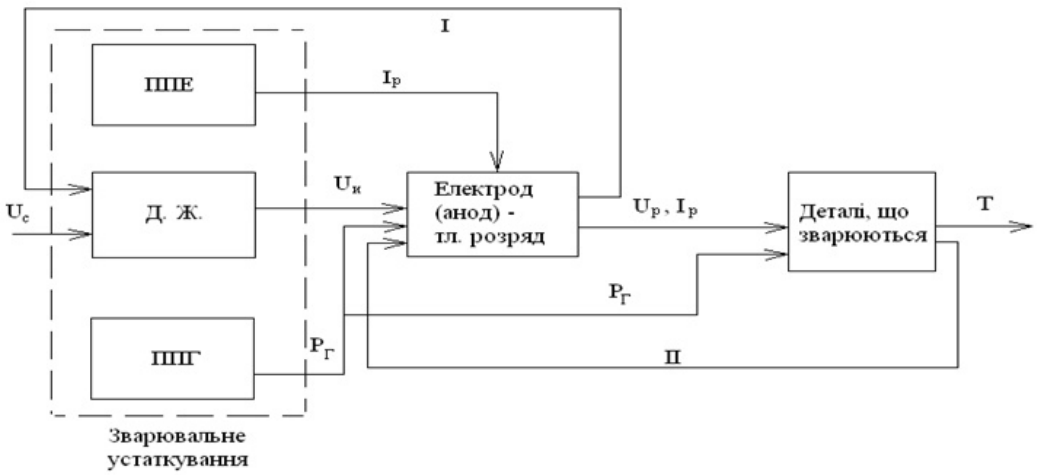


Рис. 2. Схема управління нагріванням у тліючому розряді: ДЖ – джерело живлення тліючого розряду; ППГ – пристрій подачі робочого газу; ППЕ – пристрій переміщення електрода (анода) розряду

Замкнений контур I включає у себе джерело живлення, анод (електрод) та тліючий розряд, тобто елементи системи, що визначають перетворення електричної енергії мережі в електричну та теплову енергію тліючого розряду. Контур характеризує вплив налаштувань зварювального устаткування – джерела живлення (ДЖ) й пристрою подачі газу ППГ на забезпечення підтримки горіння тліючого розряду. Зовнішніми керуючими впливами у цьому контурі, що визначають режим тліючого розряду і його енергетичні характеристики, є: напруга на виході джерела живлення, величина зовнішнього опору в розрядному колі, а також струм розряду, що задається ними, який, у свою чергу, визначає повну потужність розряду. За допомогою пристрою подачі газу в камері створюється захисне газове середовище, в якому горить тліючий розряд при певному тиску газу, величина якого характеризує питому об'ємну потужність, що виділяється в одиниці об'єму розрядної плазми.

Контур II включає у себе тліючий розряд та деталі, що зварюються, і характеризує вплив режиму горіння тліючого розряду на температурний стан останніх. Параметрами режиму горіння розряду й одночасно керуючими впливами в цьому контурі є струм розряду, напруга на міжелектродному проміжку і знову ж тиск газу в камері, бо в цьому випадку, крім об'ємної питомої потужності в позитивному стовпі розряду, він визначає також густину енергії, що виділяється в катодній плямі, розташованій на бічних поверхнях зварюваних деталей.

Наявність місцевих зворотних зв'язків, наведених на схемі, обумовлена взаємним впливом параметрів процесу. Так, конструктивна недосконалість зварного вузла (наявність щілин, зазорів та ін.) може призводити до порушення режиму горіння тліючого розряду аж до переходу його в іншу форму.

Кінцевим елементом схеми є зварне з'єднання, температурний стан якого як під час виходу на режим зварювання, так і в процесі ізотермічної витримки визначає експлуатаційні властивості виробу.

У реальних умовах нагріву заготовок у процесі зварювання або паяння кожен з елементів, представлених у схемі, функціонує в умовах збурень, які можуть носити тривалий, короткочасний, випадковий чи періодичний характер. Збурення мають різну фізичну природу, але всі вони призводять до порушення необхідного теплового стану об'єкта.

Основні збурення, що діють на процес іонного нагрівання під час зварювання і паяння з урахуванням характеру їх зміни і місця, в якому вони виникають, можна розділити на дві групи (таблиця):

– енергетичні, до яких відносяться непрогнозовані відхилення параметрів, що характеризують режим нагріву;

– технологічні збурення, зумовлені недосконалістю конструкції зварного вузла, похибками підготовки деталей до зварювання або появою цих похибок у процесі нагріву.

Таблиця

Основні збурення, що порушують стабільність енерговиділення тліючого розряду

№ п/п	Характер збурення	Місце виникнення (прикладання)	Характер зміни
1	2	3	4
Енергетичні збурення			
1.1	Коливання напруги мережі (напруги джерела живлення)	Джерело живлення	Плавний, стрибкоподібний
1.2	Зміна опору зварювального кола	Джерело живлення, зовнішнє електричне коло, тліючий розряд	Плавний, стрибкоподібний
1.3	Коливання тиску газу в робочій камері	Газ, тліючий розряд	Плавний

Закінчення табл.

1	2	3	4
Технологічні збурення			
2.1	Порушення еквідистантності розташування електрода (анода) відносно поверхні деталей	Анод, деталі, що зварюються	Плавний
2.2	Зміна емісійних властивостей поверхонь деталей	Деталі, що зварюються, тліючий розряд	Плавний, стрибкоподібний
2.3	Зміна первинної геометричної форми деталей із утворенням неприпустимих зазорів та щілин	Деталі, що зварюються	Плавний

Коливання напруги мережі живлення можуть призводити внаслідок практично жорсткої статичної вольтамперної характеристики тліючого розряду до значних відхилень розрядного струму і, відповідно, потужності розряду, що спричиняє нестабільність теплового стану деталей у зоні з'єднання з можливою появою відповідних дефектів.

Зміна опору зварювального кола, викликана як зовнішніми (зміна провідності регулюючих пристроїв – тиристорів, транзисторів, опору зовнішнього баластного резистора), так і внутрішніми (зміна провідності розрядної плазми, зміна емісійних властивостей поверхні деталей у зоні катодної плями) факторами, призводить до зміни струму розряду і його повної потужності, яка прикладається до виробу, що нагрівається.

Збурення за тиском газу викликані як недостатньою герметизацією камери, так і його розігрівом у процесі зварювання або паяння, що приводить до його розширення та підвищення середнього тиску в об'ємі камери. Зміна тиску газу в камері впливає на питому потужність розряду і здатна призводити до порушення теплового стану деталей і стійкості самого розряду.

Порушенню необхідного теплового стану зварюваних деталей сприяють також неправильні форма або встановлення електродів розряду (рис. 3) відносно один одного, або зміна міжелектродної відстані в процесі нагріву внаслідок термічної деформації електродного вузла, що може приводити до локальних флуктуацій струму на ділянках найменшої протяжності позитивного стовпа, які викликають місцевий перегрів та оплавлення поверхні деталей.

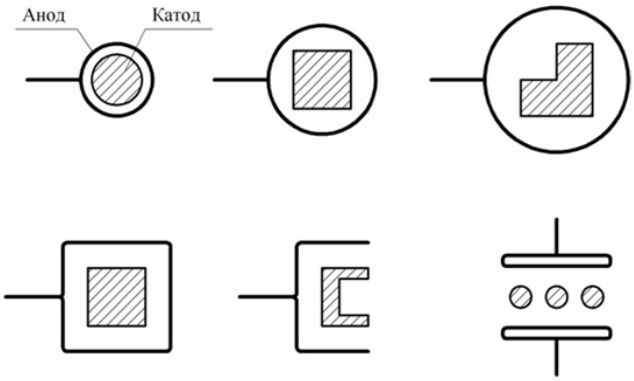


Рис. 3. Різновиди форм анодів тліючого розряду залежно від форми перерізу зварюваних деталей

Недостатньо чисті захисні гази, що мають підвищений вміст кисню або водяної пари, сприяють утворенню при підвищених температурах на поверхні катода ділянок, вкритих окислами, внаслідок чого змінюються емісійні властивості поверхні, що порушують розподіл густини струму в катодній плямі і сприяють локальному перегріванню поверхні деталей. До аналогічного результату може призводити також недостатньо якісна механічна і хімічна обробка поверхонь зварюваних заготовок у зоні розташування катодної плями розряду, яка сприяє спотворенню електричного поля на вершинах мік-

ронерівностей, а також появі емісійної плямистості поверхні деталей, що приводять до утворення окремих короткочасних дугових розрядів на ділянках із зниженою роботою виходу електронів або підвищеною напруженістю електричного поля (вершини шорсткостей, жирові і масляні забруднення та ін.).

Як вже зазначалося, у зоні дії тліючого розряду неприпустима наявність на поверхні деталей щілин і зазорів певних розмірів, у які може проникати катодна пляма розряду, оскільки це може приводити до формування розряду у порожнистому катоді з підвищеною густиною струму, здатною перегрівати та оплавляти деталі (рис. 4). Для усунення розряду в порожнистому катоді, який достатньо легко може переходити у дуговий, необхідно, щоб у зоні нагріву були відсутні щілини, зазори й отвори, що мають розміри $4d_k > a > d_k$, де d_k – протяжність області катодного падіння потенціалу тліючого розряду для цього тиску газу (рис. 5) [1].

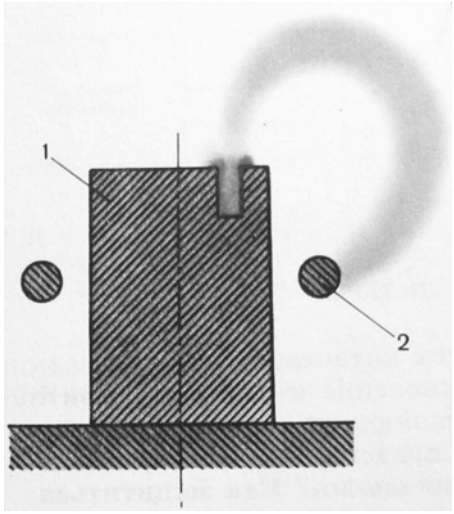


Рис. 4. Схема встановлення дугового розряду в порожнині на катоді: 1 – катод; 2 – анод

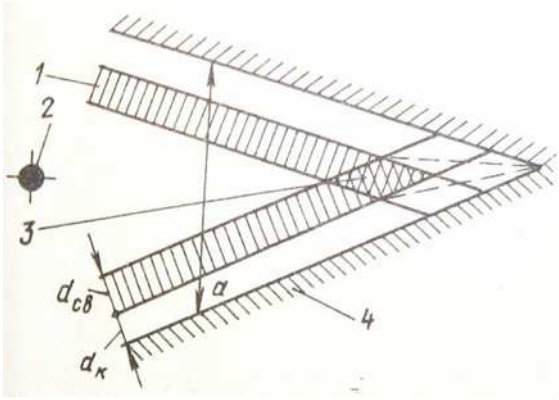


Рис. 5. Схема утворення ефекту порожнистого катода у клиновій щілині: 1 – тліюче світіння; 2 – анод; 3 – зона злиття тліючих світінь; 4 – катод

Відсутність таких зазорів у вихідній конструкції деталей, що сполучаються, і після їх складання перед зварюванням ще не є гарантією їх відсутності надалі. Вони можуть з'явитися у процесі нагріву й одночасного стиснення деталей. Основна причина полягає в порушенні співвісності дії зусилля, що стискає деталі, й геометричної осі останніх, що призводить у результаті до спотворення первісної форми деталей. Це може бути викликано неякісним складанням вузла у пристосуванні перед зварюванням. Друга причина пов'язана з недосконалістю конструкції зварного вузла, що сприяє зміні форми деталей під час нагрівання в результаті термодеформаційних процесів.

Енергетичні збурення 1.1-1.3 призводять до коливань величини зварювального струму і тому можуть бути відносно легко виявлені й виміряні за допомогою відповідних вимірювальних пристроїв. Технологічні збурення контролю і виміру в процесі нагріву практично не піддаються. Однак характерним для цих збурень є те, що вони приводять до локальної концентрації густини струму в катодній плямі, що сприяє порушенню стійкості тліючого розряду і переходу його в дуговий з відповідними змінами струму і напруги в розрядному колі.

Висновки

1. Процес нагріву тліючим розрядом під час зварювання, як об'єкт керування, може бути представлений і проаналізований як результат функціонування замкненої двохконтурної електротермічної системи, в якій основними керуючими діями, що визначають термічні характеристики процесу, є напруга джерела живлення та струм розряду, що

задається нею, а також тиск газу в робочій камері. Струм розряду визначає повну потужність, що виділяється в розрядному проміжку, а тиск газу – питомі енергетичні характеристики розряду.

2. Збурення, що впливають на процес іонного нагріву, мають різну фізичну природу, інтенсивність, періодичність та тривалість дії, однак, усі вони призводять до порушення заданого теплового стану зони з'єднання деталей і тому їх вплив повинен бути скомпенсований або мінімізований.

Список використаних джерел

1. *Котельников Д. И.* Сварка давлением в тлеющем разряде / Д. И. Котельников. – М. : Металлургия, 1981. – 116 с.

2. *Львов Н. С.* Автоматика и автоматизация сварочных процессов / Н. С. Львов, Э. А. Гладков. – М. : Машиностроение, 1982. – 302 с.

3. *Болотов Г. П.* Тлеющий разряд как источник нагрева в процессах сварки и пайки / Г. П. Болотов //Автоматическая сварка. – 2001. – № 8. – С. 41-44.

УДК 621.924.1/6

Л.И. Маркашова, д-р техн. наук
Т.А. Алексеенко, мл. науч. сотруд.
С.Л. Жданов, канд. техн. наук
Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина
Т.В. Ганеева, ассистент
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО СТАТИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА УЧАСТКА ПЕРЕГРЕВА ЗТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Проведенные исследования показали, что ЗТВ сварных соединений высокопрочной стали 17Х2М, выполненных сварочной проволокой Св-10ХН2ГСМФТЮ *со скоростью охлаждения $W_{6/5}$ = 20ºС/с, обладает оптимальным сочетанием свойств прочности и трещиностойкости как после сварки, так и в условиях воздействия внешнего нагружения. Это обеспечивается формированием в участке перегрева максимального количества структур бейнита нижнего, а также мартенсита отпуска.*

Ключевые слова: *дуговая сварка, микроструктура, высокопрочные стали, статическое нагружение.*

Проведені дослідження показали, що ЗТВ зварних з'єднань високоміцної сталі 17Х2М, виконаних зварювальним дротом Св-10ХН2ГСМФТЮ зі швидкістю охолодження $W_{6/5}$ = 20ºС/с, має оптимальне поєднання властивостей міцності та тріщиностійкості як після зварювання, так і в умовах впливу зовнішнього навантаження. Це забезпечується формуванням у ділянці перегріву максимальної кількості структур бейніту нижнього, а також мартенсита відпуску.

Ключові слова: *дугове зварювання, мікроструктура, високоміцні сталі, статичне навантаження.*

The research showed that the HAZ of welded joints made of high-strength steel 17Х2М welding wire Св-10ХН2ГСМФТЮ cooling rate $W_{6/5}$ = 20ºС/s, has the best combination of strength and fracture toughness properties, as-welded and in the conditions of an external load. This is ensured by the formation of hot spots in the maximum number of structures of the lower bainite and martensite vacation.

Key words: *arc welding, microstructure, high-strength steel, static loading.*

Постановка проблемы. Сварные соединения из высокопрочных сталей должны обеспечивать высокий уровень прочности и трещиностойкости, что во многом определяется структурно-фазовым составом в зоне термического влияния.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время для изготовления ответственных тяжелонагруженных конструкций широко применяются высокопрочные стали с пределом текучести более 590 МПа. Основные проблемы при сварке таких сталей связанны с необходимостью обеспечения требуемого уровня прочностных свойств и высокой сопротивляемости хрупкому разрушению в процессе дальнейшей эксплуатации [1; 2]. Анализ литературных данных показывает, что свойства высокопрочных сталей в значительной степени зависят от структурно-фазового состава металла ЗТВ [3; 4].

При этом существующие на сегодняшний день методы оценки механических свойств [5-7] не обладают достаточной точностью, так как не учитывают данных о роли структурных факторов, полученных на различных уровнях исследования, включая данные о зеренной, субструктурной и дислокационной структуре.

Цель статьи. Цель данной работы состоит в изучении влияния внешнего статического нагружения растяжением на структурные изменения в металле участка перегрева сварных соединений высокопрочных сталей.

Изложение основного материала. Исследования проводились на сварных соединениях, полученных в результате механизированной сварки пластин стали 17Х2М в защитных газах (78 %Ar + 22 %CO_2) проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм марки Св-10ХН2ГСМФТЮ. Сварка выполнялась без предварительного подогрева на режимах: $I_{св}$ = 160…180 А, $U_д$ = 26…28 В, $V_{св}$ = 12…12,5 м/ч, $Q_{св}$ = 9 кДж/см, скорость охлаждение металла ЗТВ в интервале температур 600…500 °С составляла $W_{6/5}$ = 20 °С/с.

Статическое нагружение осуществлялось под действием внешней растягивающей нагрузки, величина напряжений от которой составляла 0,75 $\sigma_В$ = 765 МПа и 0,85 $\sigma_В$ = 867 МПа, на вырезанных из металла ЗТВ сварных соединений цилиндрических образцов длиной 48 мм и диаметром рабочей части 6 мм. Время выдержки образцов при каждой фиксированной нагрузке было постоянным и составляло 60 минут. С целью локализации нагрузки в контролируемом участке сварных соединений (зоне термического влияния – ЗТВ), на образцы наносилась кольцевая проточка шириной 2 мм и глубиной 0,5 мм. Затем образцы нагружались постоянно действующей нагрузкой.

В результате воздействия на металл предварительной нагрузки, величина которой сопоставима с 0,85$\sigma_В$ данного металла, значение его предела прочности повышаются от 1020 МПа (в исходном после сварки состоянии) до 1156 МПа (после предварительного нагружения образцов указанной нагрузкой).

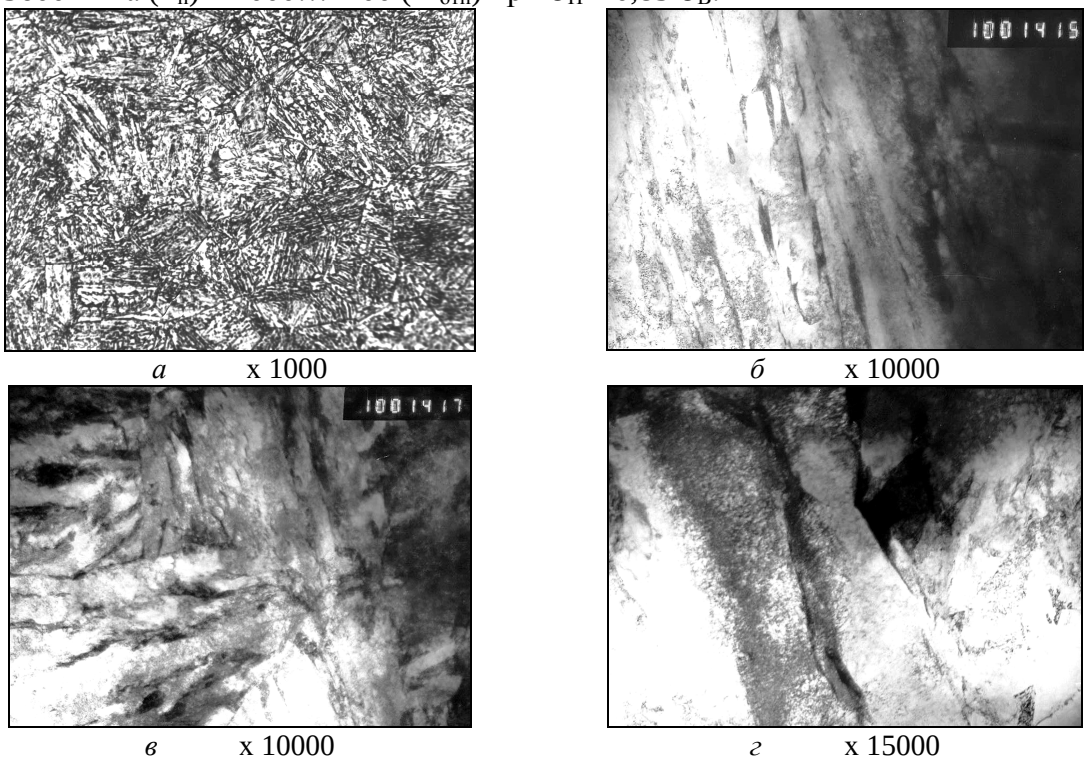
Исследования структуры металла ЗТВ после сварки и предварительного статического нагружения выполнялись с использованием комплекса методов исследования, включающих световую микроскопию и просвечивающую микродифракционную электронную микроскопию.

Металлографическими исследованиями установлено, что в состоянии после сварки структура в участке перегрева ЗТВ состоит из бейнита верхнего ($Б_в$), бейнита нижнего ($Б_н$) и мартенсита отпуска ($М_{отп}$), при соотношении объемной доли фазовых составляющих ($VБ_в$ ~ 30 %; $VБ_н$ ~ 50 %; $VМ_{отп}$ ~ 20 %), (рис. 1, *а*). Размер зерна (ширина пакетов) составляет $D_З$ ($Б_в$) ~ 40…70 мкм, а $D_З$($Б_н$) ~ 35…65 мкм, $D_З$ ($М_{отп}$) ~ 10…20 мкм при микротвердости структурных составляющих HV($Б_в$)~2960…3030 МПа, HV($Б_н$)~3210…3250 МПа и HV($М_{отп}$) ~ 3800…3900 МПа.

Электронно-микроскопические исследования тонкой структуры на просвет, дающие представления о тонкой структуре, изменении плотности и распределении дислокаций в различных структурных составляющих, показали следующее. Размер реек бейнитных составляющих hP ($Б_в$) ~ 0,3…0,55 мкм, $h_Р$($Б_н$) ~ 0,25…0,45 мкм, в мартенсите отпуска $h_Р$ ($М_{отп}$) ~ 0,5…0,7 мкм (рис. 1, *б-г*, 2, *б*). В зависимости от структурной составляющей изменяется плотность и распределение дислокаций. В рейках бейнита нижнего наблюдается формирование ячейстой субструктуры с равномерным распределением плотности дислокаций по объему ρ ~ 4…6×1010 $см^{-2}$, в структурах мартенсита отпуска ρ ~ 8×1010 …×1011 $см^{-2}$. Вдоль реек бейнита верхнего наблюдается повышенное значение плотности дислокаций (ρ) до значения ρ ~ 7×1010…1011 $см^{-2}$.

После предварительного внешнего статического нагружения в участке перегрева (по сравнению с состоянием после сварки) происходит уменьшение размера зерна

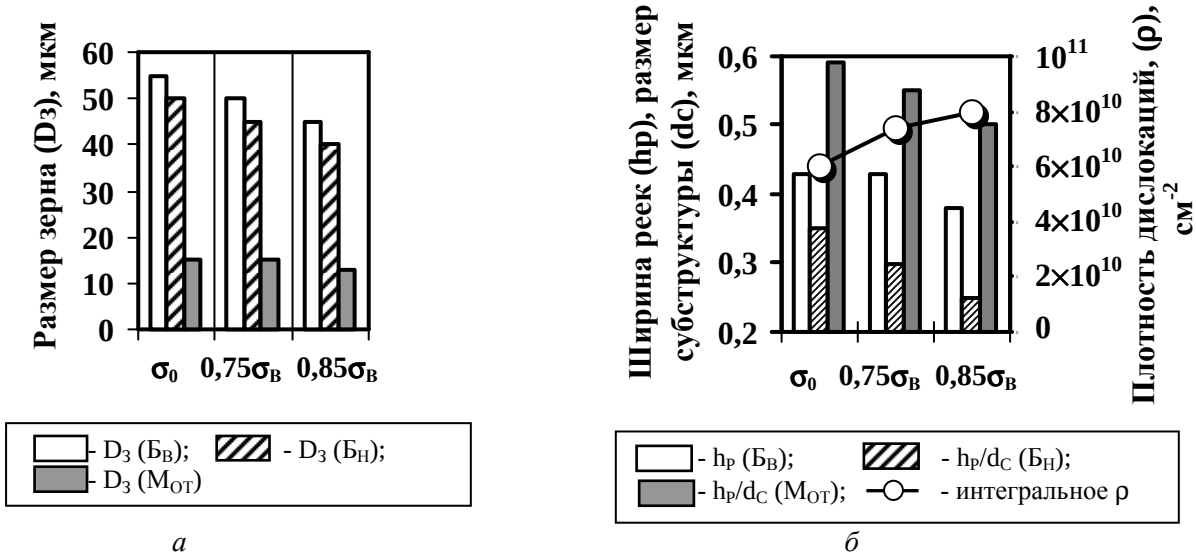
на ~ 10…20 % до 30…65 мкм ($Б_в$), 30…65 мкм ($Б_н$) и 10…15 ($М_{отп}$) (рис. 2, *а*). Микротвердость структурных составляющих увеличивается на 7…11 % и составляет 3300 МПа ($Б_в$), 3600 МПа ($Б_н$) и 4000…4100 ($М_{отп}$) при $\sigma_Н = 0{,}85\ \sigma_В$.



а х 1000 *б* х 10000

в х 10000 *г* х 15000

Рис.1. Микроструктура (а) и тонкая структура участка перегрева стали 17Х2М: б – бейнит верхний; в – бейнит нижний; г – мартенсит отпуска



а *б*

Рис. 2. Изменение структурных параметров в участке перегрева после сварки (σ0), и после применения внешнего нагружения (0,75σВ; 0,85σВ): а – размер зерна; б – размер реек, субструктуры и плотность дислокаций (б)

Для того, чтобы определить, какие изменения структурных параметров произошли в металле ЗТВ высокопрочных сталей после предварительного статического нагружения, были выполнены исследования тонкой структуры на просвет. Это позволило установить этапы эволюции структуры в участке перегрева образцов в процессе действия статической нагрузки. Показано, что с увеличением статического нагружения (от 0,75 $\sigma_В$

до $0{,}85\sigma_B$) интегральное значение внутризеренной плотности дислокаций увеличивается от $\rho \sim 6…7\times1010$ до $8…9\times1010$ см$^{-2}$. Размер реек бейнита нижнего уменьшается до $h_P \sim 0{,}25…0{,}5$ мкм, вдоль реек бейнита верхнего наблюдается максимальное повышение плотности дислокаций до 2×1011 см$^{-2}$, что приводит к формированию зон локализации деформации $\delta\varepsilon \sim 0{,}2…0{,}6$ мкм (рис. 3, *а*). В рейках мартенсита отпуска и бейнита нижнего происходит формирование фрагментированной субструктуры с высокоугловыми границами, размер которой уменьшается (до $d_C \sim 0{,}2...0{,}4$ мкм) по мере повышения уровня нагружения (рис. 2, *б*; 3, *б*). Плотность дислокаций в бейните нижнем составляет $\rho \sim$ до $9\times1010…1011$ см$^{-2}$, в мартенсите отпуска $\rho \sim$ до $1{,}2…1{,}3\times1011$ см$^{-2}$.

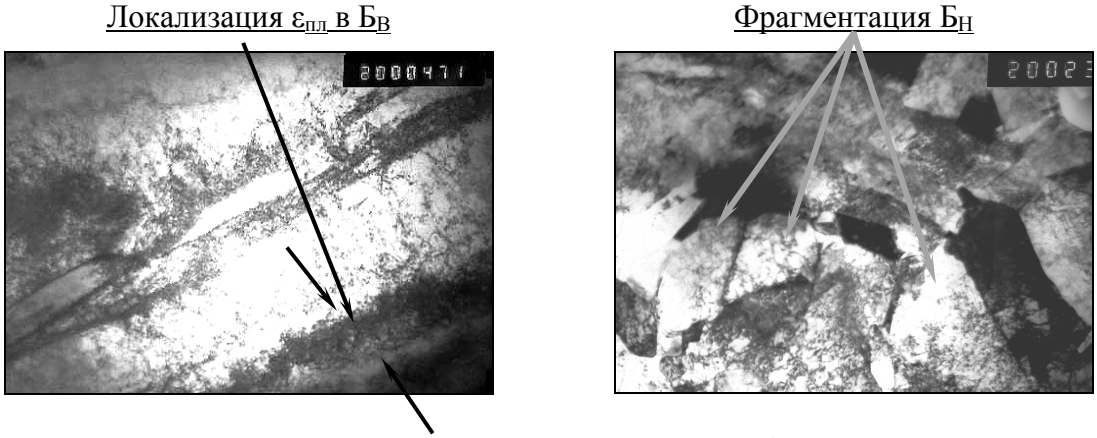


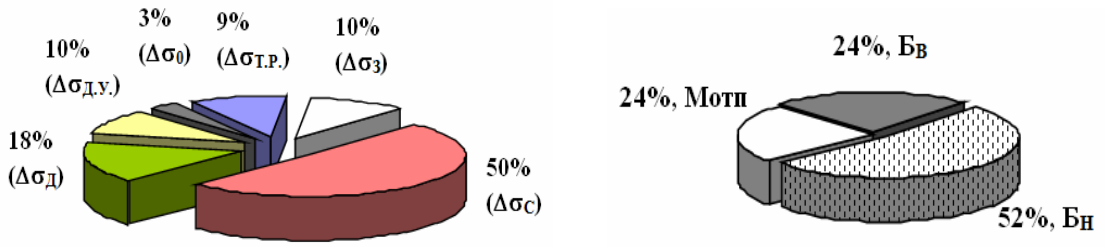
Рис. 3. Протяженные дислокационные скопления в зонах локализованной деформации вдоль реек верхнего бейнита (а) и фрагментированная структура нижнего бейнита (б)

Экспериментальная информация позволила не только выполнить аналитическую оценку изменения интегрального значения предела текучести ($\sum\sigma_T$), но и величины дифференцированного вклада всех структурных параметров в участке перегрева, а именно: размера зерна ($D_З$), субзерна (d_C), плотности дислокаций (ρ), межкарбидного расстояния ($\lambda_ч$), а также объемной доли формирующихся структур, согласно зависимости Арчарда, где: σ_0 – трения решетки (напряжение Пайерлса-Набарро); $\Delta\sigma_{Т.Р.}$ – твердорастворного (упрочнение твердого раствора легирующими элементами, соответственно теории Мота-Набарро); $\Delta\sigma_З$ и $\Delta\sigma_C$ – упрочнения за счет изменения величины зерна в соответственно зависимости Холла-Петча; связывает размер зерна и субзерна с сопротивлением деформации, $\Delta\sigma_Д$ – дислокационного упрочнения, обусловленного междислокационным взаимодействием, соответственно теории Дж. Тейлора, А. Зегера, Н. Мота и Г. Хирша, характеризующая пластическую деформацию, а также $\Delta\sigma_{Д.У.}$ – упрочнения за счет дисперсных фаз по Оровану [8].

Сопоставлением изменения расчетного значения предела текучести ($\sum\sigma_T$) в участке перегрева непосредственно после сварки и последующего предварительного внешнего статического нагружения растяжением показано следующее. В состоянии после сварки расчетное значение $\sum\sigma_T \sim 950$ МПа, максимальный вклад в предел текучести вносит субструктурное $\Delta\sigma_C \sim 460$ МПа и дислокационное $\Delta\sigma_Д \sim 154$ МПа упрочнение, а минимальный дисперсионное ($\Delta\sigma_{Д.У.}$) и зеренное ($\Delta\sigma_З$) упрочнение (~ 113…117 МПа). В условиях внешнего нагружения ($\sigma_Н = 0{,}85\ \sigma_В$) общее значение предела текучести повышается до значения ~ 1100 МПа. Это происходит за счет повышения вклада субструктурного $\Delta\sigma_C \sim 550$ МПа и дислокационного упрочнения $\Delta\sigma_Д \sim 178$ МПа, что связанно с фрагментацией структур бейнита нижнего и мартенсита отпуска при равномерном повышении и распределении в них плотности дислокаций. На рис. 4 показан вклад

(в %) каждого из видов упрочнения в интегральную величину $\Sigma\sigma_T$ и структурных составляющих (бейнита верхнего, бейнита нижнего и мартенсита отпуска) в величину субструктурного упрочнения в участке перегрева сварного соединения после внешнего нагружения.

Таким образом, показано, что фрагментация субзеренной структуры способствует повышению сопротивления пластической деформации металла, так как при этом возрастает суммарная длина границ зерен и субзерен, которые являются препятствиями для движения дислокаций. В результате таких процессов структура металла измельчается, за счет чего и упрочняется, что мы и наблюдали относительно исследованных нами образцов стали 17Х2М.



а *б*

Рис. 4. Дифференцированный вклад механизмов упрочнения (Δσ) в изменение интегрального значения σТ (а) и вклад структурных составляющих (БВ, БН, МОТП) в изменение субструктурного упрочнения (ΔσС) в участке перегрева после внешнего нагружения σН = 0,85 σВ

Экспериментальные данные о характере распределения дислокаций и их плотности в различных структурах (бейните нижнем, бейните верхнем и мартенсите отпуска) позволили рассчитать также и уровень локальных внутренних напряжений ($\tau_{ВН}$) и сопоставить эти значения с теоретической прочностью при сдвиге $\tau_{ТЕОР}$ = G/10 = 8400 МПа (G – для железа) [9].

Показано, что максимальные значения по $\tau_{ВН}$ формируются вдоль границ реек $Б_В$ ~ 1294…2600 МПа, а минимальные в структурах $Б_Н$ ~ 924…1474 МПа, в мартенсите отпуска 1800…2000 МПа. Применение предварительного внешнего нагружения приводит к повышению уровня локальных внутренних напряжений, при максимальном значении вдоль цементитных пластин бейнита верхнего (до 2240…3700 МПа).

Обобщение и анализ результатов аналитической оценки распределения локальных внутренних напряжений ($\tau_{ВН}$) в характерных структурных составляющих для всех исследуемых технологических режимов показал, что наиболее плотные и протяженные (ι ~ 1,2…6 мкм) дислокационные скопления ($\rho \sim 4\times10^{10}…2\times10^{11}$ см$^{-2}$) формируются вдоль сплошных цементитных пластин в структурах бейнита верхнего с величиной локальных внутренних напряжений до ~ 1294…3700 МПа (0,44 от $\tau_{ТЕОР}$), что при более жестких эксплуатационных условиях может спровоцировать формирование локальных концентраторов внутренних напряжений и соответственно хрупкое разрушение.

Для дислокационных скоплений ($\rho \sim 4…8 \times10^{10}…10^{11}$ см$^{-2}$), формирующихся в структурах бейнита нижнего, характерны и значительное уменьшение их протяженности (ι ~ 0,2…0,7 мкм) при равномерном распределении по внутреннему объему реек, что способствует уменьшению практически 1,5…2 раза уровня локальных внутренних напряжений $\tau_{ВН}$ ~ 924…1474 МПа (0,18 от $\tau_{ТЕОР}$). Подобная картина наблюдается и для мартенсита отпуска. Поэтому при изготовлении сварных конструкций из высокопрочных сталей, которые в процессе эксплуатации подвергаются значительным нагрузкам,

режимы сварки должны выбираться таким образом, что в металле ЗТВ таких соединений формировалась структура состоящая из бейнита нижнего и мартенсита отпуска.

Выводы. Экспериментально-расчетными исследованиями показано, что в условиях воздействия предварительного статического нагружения растяжением величиной $\sigma_H = 0{,}85\sigma_B$ в металле ЗТВ сварных соединений высокопрочных сталей происходит повышение значений предела текучести и предела прочности, что связанно с измельчением зеренной субзеренной структуры и повышением плотности дислокаций.

Показано, что основными механизмами, повышающими предел текучести металла в участке перегрева ЗТВ сварных соединений, является субструктурное и дислокационное упрочнение. Происходит это за счет фрагментации структур бейнита нижнего и мартенсита отпуска, а также за счет равномерного распределении в них плотности дислокаций.

Установлено, что потенциальными участками зарождения микротрещин в участке перегрева ЗТВ сварных соединений высокопрочных сталей являются границы реек бейнита верхнего, уровень плотности дислокаций и соответственно локальных внутренних напряжений, вдоль которых в 1,5…2 раза выше, по сравнению с границами структур бейнита нижнего.

Список использованных источников

1. *Шоршоров М. Х.* Фазовые превращения и свойства стали при сварке / М. Х. Шоршоров, В. В. Белов. – М. : Наука, 1972. – 220 с.

2. *Макаров Э. Л.* Холодные трещины при сварке легированных сталей / Э. Л. Макаров. – М. : Машиностроение, 1981. – 247 с.

3. *Сварка* и проблемы вязкохрупкого перехода / [В. П. Ларионов, Р. С. Григорьев, Г. А. Новиков и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1998. – 596 с.

4. *Микроструктуры*, соответствующие инициации хрупкого разрушения в зоне термического влияния швов на низкоуглеродистой стали / Ohya Kenji, Rim Jongseop, Yokoyama Kenichi [и др.] // Met. and Mater. Trans. A. – 1996. – № 9. – С. 2574-2582.

5. *Ito Y.* and Bessyok. Weldability Formula of High Strength steels related to heat-affected-zone cracking. JJW Doc IX – 576-68.

6. *Касаткин О. Г.* Интерполяционные модели для оценки фазового состава зоны термического влияния при дуговой сварке низколегированных сталей / О. Г. Касаткин, П. Зайфарт // Автомат. сварка. – 1984. – № 1. – С. 7-11.

7. *Касаткин О. Г.* Расчет режимов сварки и свойств сварных соединений низколегированных сталей повышенной прочности / О. Г. Касаткин. – К. : Общество «Знание» УССР, 1987. – 24 с.

8. *Гольдштейн М. И.* Металлофизика высокопрочных сплавов / М. И. Гольдштейн, В. С. Литвинов, Б. М. Бронфин. – М. : Металлургия, 1986. – 307 с.

9. *Теоретическое* и экспериментальное исследование дисклинаций / Н. А. Конева, Д. В. Лычагин, Л. А. Теплякова, Э. В. Козлов. – Л. : Изд-во ЛФТИ, 1986. – С. 116.

УДК 621.791.754:51-74

И.В. Пентегов, д-р техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина
С.В. Рымар, д-р техн. наук
В.Н. Сидорец, д-р техн. наук
О.И. Петриенко, канд. техн. наук
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, г. Киев, Украина

РАСПЛАВЛЕНИЕ ПОКРЫТОГО СВАРОЧНОГО ЭЛЕКТРОДА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ СТАЛЕЙ С КОРОТКИМИ ЗАМЫКАНИЯМИ

Рассмотрено влияние пространственного расположения и коротких замыканий на расплавление покрытого сварочного электрода при дуговой сварке переменным и постоянным (выпрямленным) током. Учтен теплообмен между электродом и окружающей средой. Исследованы зависимости коэффициента расплавления покрытого сварочного электрода от параметров процесса дуговой сварки сталей.

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

Розглянуто вплив просторового розташування та коротких замикань на розплавлювання покритого зварювального електрода при дуговому зварюванні змінним і постійним (випрямленим) струмом. Врахований теплообмін між електродом і навколишнім середовищем. Досліджені залежності коефіцієнта розплавлювання покритого зварювального електрода від параметрів процесу дугового зварювання сталей.

Ключові слова: *дугове зварювання сталей, розплавлювання покритого зварювального електрода.*

Effect of the space arrangement and short circuits on melting-down of the coated welding electrode is considered at an arc alternating-current welding and by the direct-current (rectified) welding. Heat interchange between an electrode and a circumambient is considered. Dependences of factor of melting-down of the coated welding electrode on parameters of process of an arc welding of steels are investigated.

Key words: *an arc welding of steels, melting-down of the coated welding electrode.*

Постановка проблемы. Актуальность исследований продиктована приоритетными направлениями повышения технологической, энергетической и экономической эффективности сварочных процессов, в частности проблемам плавления покрытого сварочного электрода при дуговой сварке сталей. Статья продолжает исследования, начатые авторами в работах [1; 2], касающиеся определения факторов, оказывающих влияние на скорость плавления покрытого сварочного электрода при сварке металлов, а так же учет этих факторов в методиках расчета коэффициента расплавления электрода.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблемам плавления электрода при сварке металлов посвящено большое количество публикаций, наиболее значимые из которых работы [3-5]. В основу многих методик расчета параметров, оказывающих влияние на процесс сварки и плавление электрода, положены экспериментальные зависимости, или аналитические формулы, использующие параметры, которые так же базируются на экспериментальных данных, что затрудняет процесс исследования.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. В проделанных ранее авторами исследованиях не рассматривался сварочный процесс при наличии коротких замыканий.

Целью статьи является дальнейшее развитие созданной авторами аналитической методики расчета коэффициента расплавления покрытого сварочного электрода, опубликованной в работах [1; 2]. Необходимо учесть такие характеристики, как вид сварочного тока (переменный, постоянный), наличие коротких замыканий в процессе сварки, величину тока короткого замыкания, а так же расположение электрода в пространстве, теплообмен между электродом и окружающей средой, полярность постоянного сварочного тока. Методика должна упростить анализ процессов, происходящих при ручной дуговой сварке сталей покрытыми сварочными электродами и уменьшить применение эмпирических зависимостей, по сравнению с известными методиками.

Изложение основного материала. Плавление электрода при дуговой сварке происходит за счет нагрева металла электрода дугой от температуры окружающей среды T_{oc}

до температуры капли T_{kap}. Основной характеристикой плавления электрода является массовая скорость плавления (производительность) G_p, измеряемая массой расплавленного металла электрода в единицу времени (кг/с) [1-5]. 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}:

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

причем по показанию амперметра сварочный ток I_{sv} имеет среднее значение I_{sr} при сварке постоянным (выпрямленным) током и эффективное (действующее) значение I_{eff} – при сварке переменным током. Это различие связано с измерением переменного и постоянного тока приборами разных систем, которые, обычно, при переменном токе показывают эффективное значение, а при постоянном токе – среднее значение, что приводит также к различиям в значениях α_p. Эта двойственность определения коэффициента расплавления электрода сложилась исторически, и мы не будем вносить изменения в данное определение.

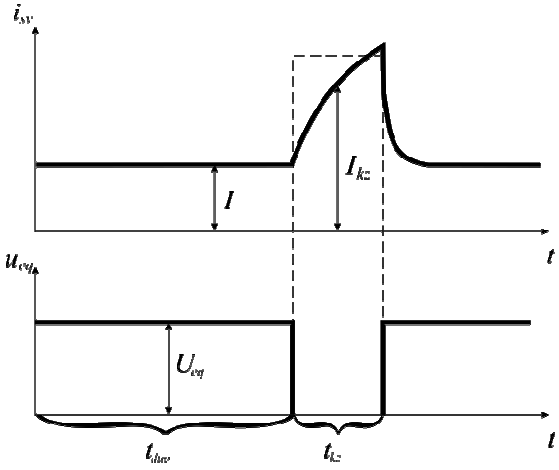


Рис. 1. Зависимости тока в электроде i_{sv} и эквивалентного напряжения дуги u_{eq} от времени t при сварке постоянным током с короткими замыканиями

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены зависимости тока в электроде i_{sv} и эквивалентного напряжения дуги u_{eq} [1; 2] от времени t при сварке постоянным током с короткими замыканиями. На рис. 1 даны обозначения: I – значение тока в электроде, когда нет короткого замыкания (его можно считать постоянной величиной); I_{kz} – ток в электроде во время короткого замыкания; t_{dug} – усредненная длительность непрерывного горения дуги; t_{kz} – усредненная длительность короткого замыкания; U_{eq} – эквивалентное напряжение дуги на интервале времени t_{dug}, при представлении дуги как противо-ЭДС. На интервале времени короткого замыкания t_{kz} дуга отсутствует и напряжение $U_{eq} = 0$. Напряжение U_{eq} является расчетной величиной и вычисляется по формулам (3) работы [1] при сварке постоянным (выпрямленным) током на обратной полярности (наиболее распространенное подсоединение, когда положительный полюс – анод подключается к электроду) и на прямой полярности (когда к электроду подключается отрицательный полюс – катод), и по формуле (10) работы [1] в случае сварки переменным током. Как правило, при обратной полярности U_{eq} = 7,4…9,2 В, при сварке на прямой полярности U_{eq} = 7,1…8,6 В.

За период сварки интервалы времени горения дуги и времени коротких замыканий постоянно изменяются. Характер их изменений – стохастический. Показаний амперметра при этом недостаточно. Нужно использовать измерительные приборы, позволяющие сохранять в цифровом виде мгновенные значения тока за весь период сварки для их последующей компьютерной обработки и вычисления усредненных значений тока I и I_{kz}, и усредненных или суммарных длительностей интервалов времени t_{dug} и t_{kz}. Усредненная частота коротких замыканий в этом случае будет равна: $f_{kz} = 1/(t_{dug} + t_{kz})$.

Определим ряд коэффициентов. Коэффициент кратности тока короткого замыкания: $k_{kz} = I_{kz}/I$. Обычно значения коэффициента k_{kz} в источниках питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами лежат в диапазоне 1,2…2,0. Коэффициент, учитывающий долю времени короткого замыкания: $k_{t,kz} = f_{kz}t_{kz} = t_{kz}/(t_{dug} + t_{kz}) = 1/(1 + t_{dug}/t_{kz})$. При рассматриваемом виде сварки интервал времени короткого замыкания, как правило, не превосхо-

дит 20 %, а интервал времени горения дуги составляет не менее 80 % (при отсутствии коротких замыканий эти интервалы будут соответственно равны 0 и 100 %). Значения соотношения этих временных интервалов будет лежать в диапазоне $t_{dug}/t_{kz} = 4\ldots\infty$, а диапазон изменения значений коэффициента $k_{t,kz} = 0\ldots0{,}2$.

Среднее значение тока при сварке постоянным (выпрямленным) током при наличии коротких замыканий равно:

$$I_{sv} = I_{sr} = I\cdot(1 - f_{kz}t_{kz}) + I_{kz}f_{kz}t_{kz} = I\cdot[1 + (k_{kz} - 1)f_{kz}t_{kz}] = I\cdot[1 + (k_{kz} - 1)k_{t,kz}]. \quad (2)$$

Разделим левую и правую часть уравнения (2) на площадь поперечного сечения электрода $\pi d_e^2/4$. Получим выражение для определения среднего значения плотности тока в электроде при сварке постоянным (выпрямленным) током при наличии коротких замыканий, в виде функции, зависящей от переменных j, k_{kz} и $k_{t,kz}$:

$$j_{sr}(j, k_{kz}, k_{t,kz}) = j\cdot[1 + (k_{kz} - 1)k_{t,kz}], \quad (3)$$

где j – среднее значение плотности тока в электроде при отсутствии коротких замыканий, равное $j = 4I/(\pi d_e)^2$.

Так же как и для постоянного тока обозначим для переменного тока через I – эффективное значение тока в электроде, когда нет короткого замыкания, а через I_{kz} – эффективное значение тока в электроде во время короткого замыкания.

При сварке переменным током, а также в случае расчета нагрева электрода (тепловыделения в электроде) при сварке постоянным (выпрямленным) током эффективное значение тока сварки с короткими замыканиями будет равно:

$$I_{sv} = I_{eff} = \sqrt{I^2(1 - f_{kz}t_{kz}) + I_{kz}^2 f_{kz}t_{kz}} = I\sqrt{1 + \left(k_{kz}^2 - 1\right) f_{kz}t_{kz}} = I\sqrt{1 + \left(k_{kz}^2 - 1\right)k_{t,kz}}\,. \quad (4)$$

В этом случае, по аналогии с формулой (3), запишем выражение по определению эффективного значения плотности тока в виде:

$$j_{eff}\left(j, k_{kz}, k_{t,kz}\right) = j\sqrt{1 + \left(k_{kz}^2 - 1\right)k_{t,kz}}\,. \quad (5)$$

Здесь j – эффективное значение плотности тока в электроде при отсутствии коротких замыканий, равное $j = 4I/(\pi d_e)^2$, где I значение тока на интервале времени горения дуги.

При более детальном рассмотрении можно показать, что величина коэффициента расплавления α_p сложным образом зависит от времени сварки, характера сварочного тока I_{sv}, его величины и полярности, а также от температуры капли T_{kap}.

Запишем формулу для определения времени t нагрева электрода проходящим током I_{eff}, от температуры окружающей среды T_{oc}, до температуры предварительного нагрева электрода T_0, полученную из дифференциального уравнения теплового баланса (см. формулу (2) работы [2]), в виде функции от температуры T_0 и эффективного значения плотности тока j_{eff}:

$$t\left(T_0, j_{eff}\right) = \frac{\gamma}{j_{eff}^2}\int_{T_{oc}}^{T_0}\frac{C_p(T)}{\rho(T)}dT + \Delta t\left(T_0, j_{eff}\right), \quad (6)$$

где γ – плотность стали; C_p – удельная теплоемкость стали, являющаяся функцией температуры электрода T [6; 7]; ρ – удельное электрическое сопротивление металла электрода, так же являющееся функцией температуры T [6-8]; Δt – дополнительное время, затрачиваемое на фазовые превращения железа:

$$\Delta t\left(T_0, j_{eff}\right) = \frac{\gamma}{j_{eff}^2}\sum_{i=2}^{k}\frac{\lambda_{Ai}}{\rho(T_i)}, \quad (7)$$

где λ_{Ai} – удельные теплоты фазовых превращений железа, см. рис. 1 работы [1] и формулу (23) работы [2]; i – порядковый номер, $i = 2\ldots k$, где $k = 2$ при $T_2 \le T_0 < T_3$, $k = 3$ при $T_3 \le T_0 < T_4$, $k = 4$ при $T_4 \le T_0 < T_5$, $k = 5$ при $T_5 \le T_0$; T_i – температуры фазовых превращений.

В работе [2] были получены формулы (14) и (17), учитывающие критерии подобия Грасгофа, Прандтля и Нуссельта для расчета коэффициента конвективной теплоотдачи с поверхности α_k соответственно для горизонтально и вертикально расположенного электрода при естественном охлаждении. Аппроксимационная зависимость, которая позволяет определять значения этого коэффициента для произвольного расположения электрода в зависимости от температуры поверхности покрытия электрода T_2, диаметра электрода d_e и угла φ, имеет вид:

$$\alpha_k(T_2,d_e,\varphi) = \alpha_{k.v}(T_2)\sin^2\varphi + \alpha_{k.g}(T_2,d_e)\cos^2\varphi, \quad (8)$$

где $\alpha_{k.v}$, $\alpha_{k.g}$ – коэффициенты конвективной теплоотдачи с поверхности электрода при его горизонтальном и вертикальном расположении; φ – угол наклона электрода, $\varphi = 0\ldots90^0$. При $\varphi = 0^0$ электрод расположен горизонтально, при $\varphi = 90^0$ электрод расположен вертикально. С увеличением угла φ коэффициент α_k будет плавно уменьшаться от наибольшего значения, когда электрод расположен горизонтально, при $\varphi = 0^0$, до наименьшего значения, когда электрод расположен вертикально, при $\varphi = 90^0$. Далее все процессы рассмотрены при естественном охлаждении электрода.

При этом формула (6) приобретает вид:

$$t\left(T_0, j_{eff}, d_e, \varphi\right) = \gamma \int_{T_{oc}}^{T_0} \frac{C_p\left(T_1\right)}{j_{eff}^2 \rho\left(T_1\right) - \frac{4}{d_e}\left(1+\frac{2\Delta}{d_e}\right) p_{e2}\left[T_2\left(T_1, d_e, \varphi\right), d_e, \varphi\right]} dT_1 + \Delta t\left(T_0, j_{eff}\right). \quad (9)$$

Здесь p_{e2} – удельная мощность, Вт/м^2, рассеиваемая с поверхности электрода в окружающую среду конвекцией и излучением:

$$p_{e2}(T_2,d_e,\varphi) = \alpha_k(T_2,d_e,\varphi)\cdot(T_2 - T_{oc}) + k_\sigma\sigma\cdot(T_2^4 - T_{oc}^4), \quad (10)$$

где k_σ – безразмерный коэффициент степени черноты поверхности (покрытия) электрода; σ – постоянная Стефана-Больцмана для излучения с поверхности электрода [2].

Формула (9) позволяет определить время t нагрева электрода проходящим током от температуры окружающей среды T_{oc} до температуры предварительного нагрева электрода T_0, при учете конвекции и теплоизлучения (см. формулы (4) и (18) работы [2]).

Для определения температуры T_2 в пакете MathCAD [9] запишем уравнение (см. уравнение (21) работы [2]):

$$T_2\left(T_1, d_e, \varphi\right) = \text{root}\left[T_1 - \theta - \frac{d_e + 2\Delta}{2\lambda}\ln\left(1+\frac{2\Delta}{d_e}\right) p_{e2}\left(\theta, d_e, \varphi\right), \theta\right], \quad (11)$$

где root – функция пакета MathCAD, позволяющая решить уравнение

$$T_1 - \theta - \frac{d_e + 2\Delta}{2\lambda}\ln\left(1+\frac{2\Delta}{d_e}\right) p_{e2}\left(\theta, d_e, \varphi\right) = 0$$

относительно температуры θ; λ – коэффициент теплопроводности покрытия электрода, λ = 2,04 Вт/(м·*K*).

Подставляя значения функции $T_2(T_1,d_e,\varphi)$ в выражение (9), можно определить время нагрева электрода сварочным током от температуры T_{oc} до T_0 при непрерывном процессе сварки.

Отметим, что нагрев электрода проходящим током отражается на величине температуры предварительного нагрева электрода T_0, а это в свою очередь приводит к изменению коэффициентов расплавления и испарения.

Характер изменения зависимостей времени нагрева электрода t от температуры T_0, вычисляемый по формуле (9), аналогичен характеру изменения зависимостей, представленных на рис. 2 работы [2].

Уравнение (9) дает возможность решить обратную задачу – найти температуру нагрева электрода T_0 за время сварки t_{sv}. Для этого запишем обратную функцию, которая в пакете MathCAD имеет вид (см. формулу (24) работы [2]):

$$T_0(t_{sv},j_{eff},d_e,\varphi) = \text{root}[t_{sv} - t(\theta,j_{eff},d_e,\varphi), \theta], \quad (12)$$

что позволяет выразить долю испаряемого металла ξ по уравнению (9) работы [1] как функцию от t_{sv}, j_{eff}, d_e и φ (см. формулу (25) работы [2], которая использует представление В.И. Дятлова [10] о том, что величина ξ обратно пропорциональна всей энергии, которую необходимо вложить в электрод для его испарения, включая и скрытую теплоту парообразования, и прямо пропорциональна энергии, требуемой для плавления электрода):

$$\xi\left(t_{sv}, j_{eff}, d_e, \varphi\right) = \frac{\int_{T_0\left(t_{sv}, j_{eff}, d_e, \varphi\right)}^{T_{pl}} C_p(\theta)\,d\theta + \sum_{i=k}^{5}\lambda_{Ai}}{\int_{T_0\left(t_{sv}, j_{eff}, d_e, \varphi\right)}^{T_{dug}} C_p(\theta)\,d\theta + \sum_{i=k}^{5}\lambda_{Ai} + r}, \quad (13)$$

где T_{pl} – температура плавления металла; i – порядковый номер, $i = k\ldots5$, где $k = 2$ при $T_0 \le T_2$, $k = 3$ при $T_2 < T_0 \le T_3$, $k = 4$ при $T_3 < T_0 \le T_4$, $k = 5$ при $T_4 < T_0 \le T_5$; T_{dug} – температура дуги. Величина ξ при дуговой сварке, согласно исследованиям А.В. Петрова [11], составляет около 9…10 % и не зависит от величины сварочного тока.

Запишем в упрощенном виде формулу (13) для нахождения значений коэффициента ξ, учитывающего долю испаряемого электродного металла в процессе сварки в зависимости от температуры предварительного нагрева электрода T_0:

$$\xi(T_0) = \frac{\int_{T_0}^{T_{pl}} C_p(\theta)\,d\theta + \sum_{i=k}^{5}\lambda_{Ai}}{\int_{T_0}^{T_{dug}} C_p(\theta)\,d\theta + \sum_{i=k}^{5}\lambda_{Ai} + r}. \quad (14)$$

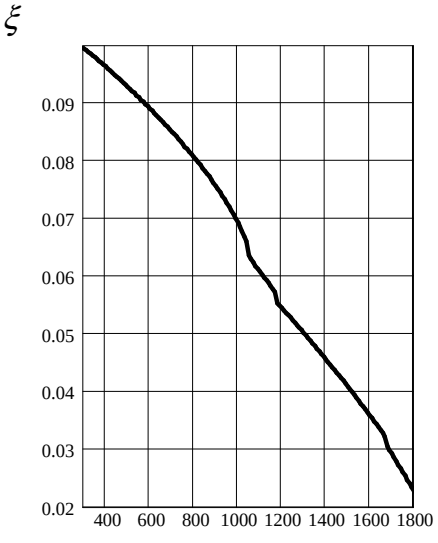


Рис. 2. Зависимости значений коэффициента ξ, учитывающего долю испаряемого электродного металла в процессе сварки, в зависимости от температуры предварительного нагрева электрода T_0

По формуле (14) на рис. 2 построена зависимость значений коэффициента ξ от температуры T_0, изменяющейся в диапазоне 300…1800 *K*. Из рисунка видно, что с ростом температуры нагрева электрода T_0 доля испаряемого металла ξ уменьшается с 10 % до 2,7 %. При ручной дуговой сварке в диапазоне температур нагрева электрода T_0 = 300…700 *K*, величина ξ уменьшается от 10 % до 8 %, что очень близко к данным, полученным А.В. Петровым. При наличии коротких замыканий или интенсивных и мощных импульсов тока при импульсно-дуговой сварке температура электрода может возрастать выше T_0 = 700 *K* и значения коэффициента ξ будут снижаться ниже 8 %. Если предположить, что время коротких замыканий настолько велико или импульсы тока столь интенсивны, что электрод нагреется до температуры, близкой к температуре плавления, величина ξ приблизится к значению 2,7 %. Для стального

электрода значения будут несколько отличаться от полученных данных. Отметим, что для точного нахождения значений удельных теплот λ_{Ai} необходимо использовать диаграмму фазовых превращений металла, применяемого в качестве материала электрода. Здесь и далее изломы на графиках связаны с дискретностью изменения значений суммы λ_{Ai} для чистого железа в формуле (13). Для стали при использовании диаграммы фазовых превращений, резких изломов наблюдаться не будет.

Рассмотрим теперь процессы, происходящие при ручной дуговой сварке переменным током, когда длительность коротких замыканий не превышает 20 % от цикла сварки (наблюдающееся для большинства технологических сварочных режимов) и значении коэффициента k_{kz} = 1,6 (когда это не оговорено отдельно). Эти значения близки к значениям большей части сварочных источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Мощность, поступающая от электрической дуги в каплю электродного металла P_1 (см. формулу (22) работы [2]) при представлении дуги как противо-ЭДС, равна:

$$P_1 = \frac{1}{t_{dug}+t_{kz}} \int_{o}^{t_{dug}+t_{kz}} U_{eq} i(t)\,dt = U_{eq} \frac{1}{t_{dug}+t_{kz}} \int_{o}^{t_{dug}} i(t)\,dt = \\ = U_{eq} I \frac{t_{dug}}{t_{dug}+t_{kz}} = U_{eq} I \frac{1}{1+t_{kz}/t_{dug}} = U_{eq} I \left(1-k_{t,kz}\right). \tag{15}$$

Здесь величина $1 - k_{t,kz}$ представляет собой долю времени горения дуги $1 - k_{t,kz}$ = = 0,8…1,0. На интервале времени горения дуги t_{dug}, при представлении дуги как противо-ЭДС, напряжение U_{eq} = const, поэтому оно выносится за знак интеграла. На интервале времени короткого замыкания t_{kz} напряжение U_{eq} = 0, поскольку дуга отсутствует.

Удельные затраты тепла, Дж/кг, на расплавление электродного металла с учетом его испарения будут равны (см. знаменатель формулы (26) из работы [2]):

$$q\left(t_{sv}, T_{kap}, j_{eff}, d_e, \varphi\right) = \left(1-\xi\left(t_{sv}, j_{eff}, d_e, \varphi_e\right)\right)\cdot\left(\int_{T_0\left(t_{sv}, j_{eff}, d_e, \varphi\right)}^{T_{kap}} C_p(\theta)\,d\theta + \sum_{i=k}^{5}\lambda_{Ai}\right) + \\ + \xi\left(t_{sv}, j_{eff}, d_e, \varphi\right)\cdot\left(\int_{T_0\left(t_{sv}, j_{eff}, d_e, \varphi\right)}^{T_{dug}} C_p(\theta)\,d\theta + \sum_{i=k}^{5}\lambda_{Ai} + r\right). \tag{16}$$

Заметим, что величины q и T_0 зависят от эффективного значения плотности тока j_{eff}.

Запишем уравнение для коэффициента расплавления электрода α_p при учете испарения, излучения и конвекции тепла с поверхности капли (см. формулы (22), (23) и (26) из работы [2]), с учетом выражений (1), (13) и (15):

$$\alpha_p = \frac{\dfrac{U_{eq} I\left(1-k_{t,kz}\right)}{I_{sv}} - k_{kap}\dfrac{\pi d_e^2}{4I_{sv}}\,p_2\left(T_{kap}, d_{kap}, \varphi\right)}{q\left(t_{sv}, T_{kap}, j_{eff}, d_e, \varphi\right)}. \tag{17}$$

Здесь k_{kap} – усредненное значение отношения площади поверхности капли к поперечному сечению электрода; p_2 – удельная мощность, Вт/м^2, рассеиваемая с поверхности капли в окружающую среду конвекцией и излучением:

$$p_2(T_{kap}, d_{kap}, \varphi) = \alpha_{k,kap}(T_{kap}, d_{kap}, \varphi)\cdot(T_{kap} - T_{oc}) + k_{\sigma,kap}\sigma\cdot(T_{kap}{}^4 - T_{oc}{}^4); \tag{18}$$

$k_{\sigma,kap}$ – безразмерный коэффициент степени черноты поверхности капли; d_{kap} – диаметр капли; $\alpha_{k,kap}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности капли, при

расчете которого можно использовать формулу (8), подставляя в нее вместо значений T_2 и d_e соответственно значения T_{kap} и d_{kap}: $\alpha_{k,kap}(T_{kap},d_{kap},\varphi) = \alpha_k(T_{kap},d_{kap},\varphi)$.

Подставляя в уравнение (17) выражения (2) или (4) с учетом соответственно выражений (3) или (5), преобразовав, получим формулу для определения коэффициента α_p:

– при сварке постоянным (выпрямленным) током:

$$\alpha_p\left(t_{sv},U_{eqv},T_{kap},j_{sr},j_{eff},d_e,\varphi\right)=\frac{U_{eqv}-\dfrac{k_{kap}}{j_{sr}}p_2\left(T_{kap},d_{kap},\varphi\right)}{q\left(t_{sv},T_{kap},j_{eff},d_e,\varphi\right)}; \quad (19)$$

– при сварке переменным током:

$$\alpha_p\left(t_{sv},U_{eqv},T_{kap},j_{eff},d_e,\varphi\right)=\frac{U_{eqv}-\dfrac{k_{kap}}{j_{eff}}p_2\left(T_{kap},d_{kap},\varphi\right)}{q\left(t_{sv},T_{kap},j_{eff},d_e,\varphi\right)}, \quad (20)$$

где U_{eqv} – эквивалентное напряжение дуги, представленное в виде функции, зависящей от коэффициентов k_{kz} и $k_{t,kz}$;

– при сварке постоянным (выпрямленным) током:

$$U_{eqv}\left(k_{kz},k_{t,kz}\right)=U_{eq}\frac{1-k_{t,kz}}{1+\left(k_{kz}-1\right)k_{t,kz}}; \quad (21)$$

– при сварке переменным током:

$$U_{eqv}\left(k_{kz},k_{t,kz}\right)=U_{eq}\frac{1-k_{t,kz}}{\sqrt{1+\left(k_{kz}^2-1\right)k_{t,kz}}}. \quad (22)$$

Плавление электрода наступает при больших плотностях тока, когда числитель в выражениях (19) или (20) становится больше нуля (см. выражение (27) работы [2]).

Анализируя формулы (19)-(22), можно заключить, что при отсутствии коротких замыканий, когда $k_{t,kz} = 0$, выражения (21) и (22) принимают свои наибольшие значения, равные напряжению U_{eq} при любых значениях k_{kz}. Значения коэффициента α_p наименьшие в начале процесса сварки, когда температура T_0 невелика и значение q большое, см. формулу (16). По мере нагрева электрода увеличивается T_0 и уменьшается величина q, что приводит к возрастанию коэффициента α_p, выше его начального уровня. При наличии коротких замыканий, выражения (21) и (22) зависят уже от величины числителя $U_{eq}(1 – k_{t,kz})$. При этом значения коэффициента α_p тем больше, чем меньше значения $k_{t,kz}$. При значениях $k_{t,kz} > 0$ и $k_{kz} > 1$, величина α_p с ростом k_{kz} уменьшается в области малых k_{kz}, а затем начинает возрастать, проходя минимум.

Определение значений коэффициента расплавления α_p из выражения (20) позволяет построить его зависимости от времени нагрева электрода t_{sv} переменным током при различных параметрах, приведенные на рис. 3. На рис. 3, *а* видно, что коэффициент α_p с течением времени нагрева электрода интенсивно возрастает с увеличением диаметра электрода d_e при одной и той же плотности тока j (чем больше d_e, тем больше значение T_0 в знаменателе в выражении (20), и сам знаменатель уменьшается, увеличивая правую часть этого выражения) и α_p так же больше для вертикально расположенного электрода (утолщенные линии), по сравнению с горизонтально расположенным электродом (тонкие линии). При сварке с короткими замыканиями (пунктирные линии), с увеличением времени сварки t_{sv}, значения коэффициента α_p при диаметре электрода $d_e = 5$ мм начинают возрастать и превосходить значения этого коэффициента при сварке без коротких замыканий (сплошные линии).

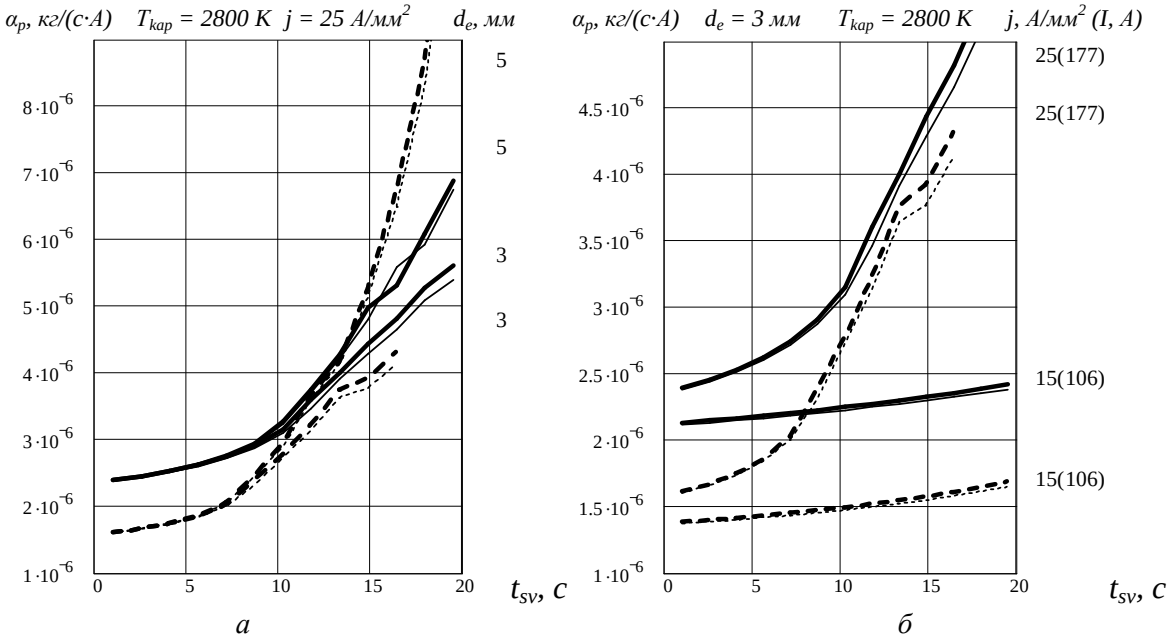


Рис. 3. Зависимости коэффициента расплавления α_p от времени сварки t_{sv} переменным током без коротких замыканий, $k_{t,kz}$ = 0, (сплошные линии) и с короткими замыканиями, $k_{t,kz}$ = 0,2, (пунктирные линии) при: а – диаметрах электрода d_e = 3 и 5 мм при плотности тока в электроде j = 25 А/мм^2, температуре капли T_{kap} = 2800 К; б – плотностях тока в электроде j (токах I) = 15 (106) и 25 (177) А/мм^2 (А) при диаметре электрода d_e = 3 мм, температуре капли T_{kap} = 2800 К для вертикально (утолщенные линии) и горизонтально (тонкие линии) расположенного электрода, при k_{kz} = 1,6

На рис. 3, *б* показано, что коэффициент α_p с течением времени нагрева электрода увеличивается, причем тем сильнее, чем выше плотность тока j (ток I) в электроде (чем выше j (I), тем меньше значение правой части числителя в выражении (20), и сам числитель увеличивается, увеличивая правую часть этого выражения), и опять же α_p больше для вертикально расположенного электрода (утолщенные линии), по сравнению с горизонтально расположенным электродом (тонкие линии). При сварке с короткими замыканиями (пунктирные линии), с увеличением времени сварки значения коэффициента α_p начинают резко возрастать и при плотности тока в электроде j = 25 А/мм^2 и приближаться к значениям этого коэффициента при сварке без коротких замыканий (сплошные линии).

Запишем выражения для определения длины оплавленной части электрода l за время сварки t_{sv} с использованием формул (19) и (20) и учетом формулы (29) из работы [2]:

– при сварке постоянным (выпрямленным) током:

$$l\left(t_{sv},U_{eqv},T_{kap},j_{sr},j_{eff},d_e,\varphi\right)=\frac{j_{sr}}{\gamma}\int_0^{t_{sv}}\alpha_p\left(t,U_{eqv},T_{kap},j_{sr},j_{eff},d_e,\varphi\right)dt; \qquad (23)$$

– при сварке переменным током:

$$l\left(t_{sv},U_{eqv},T_{kap},j_{eff},d_e,\varphi\right)=\frac{j_{eff}}{\gamma}\int_0^{t_{sv}}\alpha_p\left(t,U_{eqv},T_{kap},j_{eff},d_e,\varphi\right)dt. \qquad (24)$$

Зависимости (23) и (24) имеют тот же характер, что и зависимости, построенные на рис. 5 работы [2].

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. В рассмотренных на рис. 3 случаях значения коэффициента расплавления

электрода α_p больше при отсутствии коротких замыканий (за исключением кривой на рис. 3, *а* для диаметра электрода d_e = 5 мм после t_{sv} = 14 с) по сравнению со случаем, когда короткие замыкания характеризуются небольшой кратностью тока короткого замыкания, $k_{kz} \le 1{,}6$, 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 для коэффициента расплавления электрода α_p. Хотя есть случаи, когда определяющим будет второй фактор, как на рис. 3, *а*. Рассмотрим это более подробно.

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), k_{kz} = 1,6 (пунктирные линии), k_{kz} = 3,5 (штрихпунктирные линии). Здесь для наглядности приведены более широкие диапазоны значений $k_{t,kz}$ и k_{kz}. При значениях коэффициента k_{kz} = 1,0 и 1,6, коэффициент α_p больше в случае $k_{t,kz}$ = 0,2, по сравнению со значениями при $k_{t,kz}$ = 0,3, когда кривые в виде пунктирных линий, с течением времени, начинают сближаться. Характерно, что после 20 с сварки пунктирные и сплошные линии пересекаются и коэффициент α_p становится больше для большего значения k_{kz}. Здесь уже вступает в силу второй фактор. При k_{kz} = 3,5 сначала коэффициент α_p больше при коэффициенте $k_{t,kz}$ = 0,2, по сравнению со значениями при коэффициенте $k_{t,kz}$ = 0,3 (штрихпунктирные линии) и определяющим является первый фактор. Однако, в последствие, 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 так же определяющим становится второй фактор.

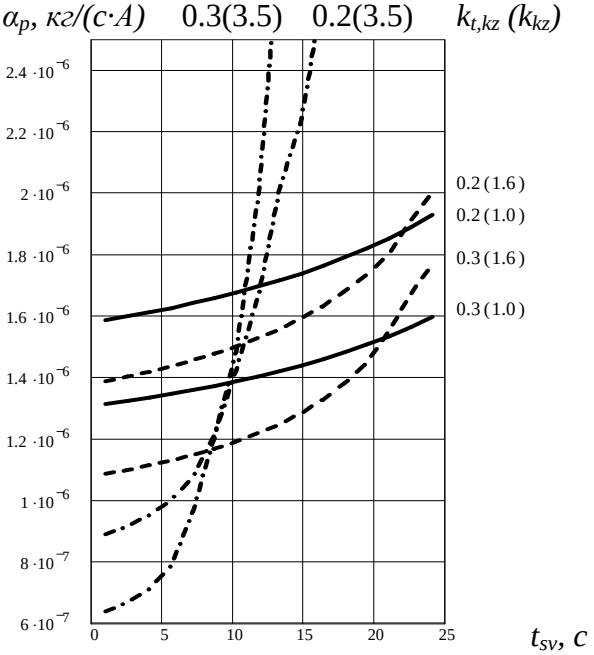


Рис. 4. Зависимости коэффициента расплавления α_p от времени сварки t_{sv} переменным током с короткими замыканиями – $k_{t,kz}$ = 0,2 и 0,3 при: k_{kz} = 1,0 (сплошные линии), k_{kz} = 1,6 (пунктирные линии), k_{kz} = 3,5 (штрихпунктирные линии) для вертикально расположенного электрода диаметром d_e = 5 м , при плотности тока в электроде j = 15 А/мм^2 и температуре капли T_{kap} = 2800 К

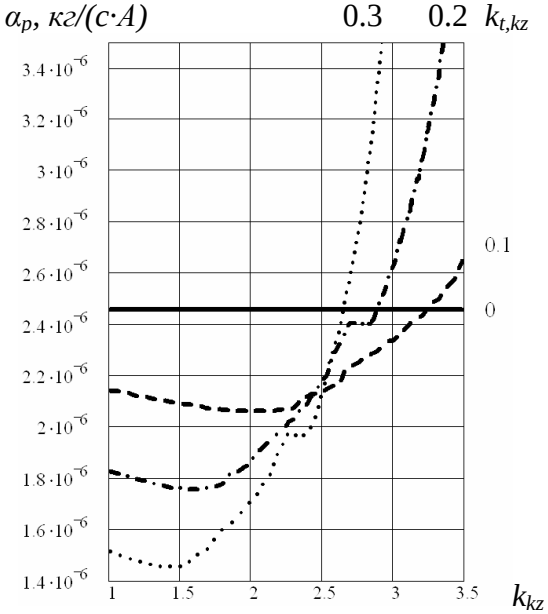


Рис. 5. Зависимости коэффициента расплавления α_p от коэффициента k_{kz} = 1,0…3,5 при сварке переменным током без коротких замыканий $k_{t,kz}$ = 0 (сплошная линия) и с короткими замыканиями $k_{t,kz}$ = 0,1 (пунктирная линия), $k_{t,kz}$ = 0,2 (штрихпунктирная линия), $k_{t,kz}$ = 0,3 (точечная линия) в момент времени сварки t_{sv} = 20 секунд для вертикально расположенного электрода диаметром d_e = 5 мм, при плотности тока в электроде j = 15 А/мм^2 и температуре капли T_{kap} = 2800 К

Смена влияния двух факторов хорошо иллюстрируется на рис. 5, на котором приведены зависимости коэффициента расплавления α_p от значений коэффициента кратности тока короткого замыкания k_{kz} = 1,0…3,5 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 (штрихпунктирная линия), $k_{t,kz}$ = 0,3 (точечная линия) в момент, когда время сварки t_{sv} = 20 с. 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 возрастать, проходя минимум. Этот минимум при $k_{t,kz}$ = 0,1 (пунктирная линия) наступает при $k_{kz} \approx$ 2,25, при $k_{t,kz}$ = 0,2 (штрихпунктирная линия) наступает при $k_{kz} \approx$ 1,6, а при $k_{t,kz}$ = 0,3 (точечная линия) минимум наступает при $k_{kz} \approx$ 1,5. До минимумов определяющим является первый фактор, после минимумов определяющим становится второй фактор.

При сварке постоянным (выпрямленным) током графики будут незначительно отличаться от графиков, приведенных на рис. 3-5.

Дальнейшие исследования процессов нагрева электрода должны быть посвящены подводной сварке.

Выводы. Разработанная методика расчета коэффициента расплавления покрытого электрода при ручной дуговой сварке позволяет получать зависимости этого коэффициента от тока и температуры капли электродного металла с учетом испарения с поверхности капли, подогрева электрода и теплообмена между электродом и окружающей средой посредством теплопроводности через покрытие электрода, конвекции и теплоизлучения с поверхности электрода при наличии или отсутствии коротких замыканий.

Показано, что коэффициент расплавления электрода зависит от режима сварки, вида сварочного тока, длительности непрерывного интервала сварки, окружающей среды, от положения электрода в пространстве, наличия или отсутствия коротких замыканий, от кратности тока короткого замыкания, что может приводить к появлению различий в характеристиках сварного шва.

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 значительным суммарным временем коротких замыканий может наблюдаться недопустимый уровень нагрева электрода проходящим током.

Список использованных источников

1. *Пентегов И. В.* К аналитическому определению коэффициента расплавления при дуговой сварке сталей / И. В. Пентегов, В. Н. Сидорец, О. И. Петриенко, А. М. Жерносеков // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збірник / Черніг. держ. технол. ун-т. – 2012. – № 2 (57). – С. 89-96.

2. *Пентегов И. В.* 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 Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : науковий збірник / Черніг. держ. технол. ун-т. – 2012. – № 3 (59). – С. 110-120.

3. *Фролов В. В.* Теоретические основы сварки / В. В. Фролов, В. А. Винокуров, В. Н. Волченко [и др.]. – М. : Высш. школа, 1970. – 592 с.

4. *Лесков Г. И.* Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 335 с.

5. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. акад. Б. Е. Патона. – М. : Машиностроение, 1974. – 768 с.

6. *Гудремон Э.* Специальные стали / Э. Гудремон. – М. : Металлургия, 1966. – Т. 1. – 736 с.

7. *Пентегов И. В.* Метод расчета падения напряжения по длине вылета электрода с учетом нелинейности теплофизических параметров / И. В. Пентегов, О. И. Петриенко // Автоматическая сварка. – 2002. – № 4. – С. 30-33.

8. *Петров Г. Л.* Теория сварочных процессов (с основами физической химии) : учебник для ВУЗов / Г. Л. Петров, А. С. Тумарев. – М. : Высш. школа, 1977. – 392 с.

9. *Кирьянов Д. В.* MathCAD 14 / Д. В. Кирьянов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 704 с.

10. *Дятлов В. И.* Элементы теории переноса электродного металла при электродуговой сварке / В. И. Дятлов // Новые проблемы сварочной техники : сб. статей. – К. : Техника, 1964. – С. 167-182.

11. *Петров А. В.* Перенос металла в дуге при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов / А. В. Петров // Автоматическая сварка. – 1955. – № 2. – С. 26-33.

УДК 621.791:666.1.037.42

Л.Я. Березін, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

Надано критерії попереднього, проміжного, заключного контролю якості зварювання і рекомендації для їх використання. Показано вплив процесів поляризації діелектрика на якість зварних з'єднань.

Ключові слова: *зварювання в електричних полях, критерії якості зварювання, поляризація діелектрика.*

Представлены критерии предварительного, промежуточного, заключительного контроля качества сварки и рекомендации для их применения. Показано влияние поляризационных процессов в диэлектрике на качество сварных соединений.

Ключевые слова: *сварка в электрических полях, критерии качества сварки, поляризация диэлектрика.*

Presented criteria of preliminary, intermediate, final quality control of welding and the recommendation for their application. Is shown the influence of processes of polarization in dielectric on quality of welding connections.

Key words: *welding in electric fields, criterion of quality of welding, polarization dielectric.*

Постановки проблеми. Зварювання в електричному полі (ЗЕП) високої напруги дозволяє отримувати прецизійні, герметичні вузли з матеріалів з різкими відмінностями у фізико-хімічних властивостях, які задовольняють найжорсткіші технічні умови [1]. Також необхідно зазначити, що отримання заданих властивостей зварного вузла можливе під час дотримання певних вимог. Це питання ще не мало системного підходу і тому потребує додаткового розгляду.

Мета та завдання роботи. Розробити комплекс технологічних і технічних заходів, які б дозволяли отримувати якісні зварні з'єднання з різнорідних матеріалів у твердій фазі в електричному полі високої напруги під час забезпечення найжорсткіших технічних вимог.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для отримання якісного зварного з'єднання при ЗЕП потрібно проводити поетапний контроль:

- попередній контроль заготовок майбутнього вузла;
- проміжній контроль у процесі зварювання;
- контроль правильності експлуатації зварювального обладнання;
- заключний контроль готового виробу.

Попередній контроль. Попередній контроль заготовок майбутнього зварного вузла повинен включати:

- контроль геометричних розмірів деталей, що входять до складу вузла;
- контроль мікрошорсткості поверхонь, що зварюються;
- контроль якості очищення поверхонь, що зварюються.

Питання впливу мікрошорсткості поверхні діелектрика (скла, ситалів) на якість зварних з'єднань досліджувалося в [2]. Для отримання якісного зварного з'єднання повер-

хня під зварювання повинна мати середнє арифметичне відхилення профілю $R_a \le 0,02$ мкм. Після шліфування, полірування й очищення [3] з партії зразків, що були зроблені, беруть декілька зразків для визначення мікрошорсткості поверхні за допомогою профілографа-профілометра типу А1 моделі 252. При цьому треба мати на увазі, що в межах однієї партії зразків, що були відполіровані, велична R_a буде різною. На рис. 1 наведена крива частот розподілення параметра R_a у межах однієї промислової партії механічної обробки ситалу СО-115М.

До зварювання зразки зберігаються в ексикаторі. Безпосередньо перед зварюванням поверхню під зварювання протирають технічним ацетоном або технічним етиловим спиртом.

Якість очищення поверхонь, що зварюються, має особливо велике значення під час використання прецизійних методів зварювання у твердій фазі. Окрім того, під час очищення відбувається контакт поверхні скла або ситалу з хімічними розчинами, результатом якого є зміна властивостей їх поверхонь і приповерхневого шару. Враховуючи, що одним з етапів утворення зварного з'єднання скла і ситалів з металами є кислотно-відновлювальна взаємодія між поверхнями, що зварюються, то до процесу хімічного очищення треба відноситися обережно. Це питання стосовно ЗЕП ще потребує додаткових досліджень. Вплив видів очищення (одноразове, комбіноване) на міцність з'єднань, що були отримані ЗЕП, проводилися в роботі [3] й один з найкращих варіантів надано в роботі [4]. У загальному випадку під час очищення, окрім самого очищення, відбувається зміна мікрошорсткості поверхонь (за рахунок розтравлювання) і зміна кислотності поверхні (pH), що буде зварюватися. За результатами досліджень була розроблена методика, що дозволяє якісно проконтролювати вказані процеси і може бути рекомендована під час проведення досліджень, а деякі з рекомендованих критеріїв і для промислового використання.

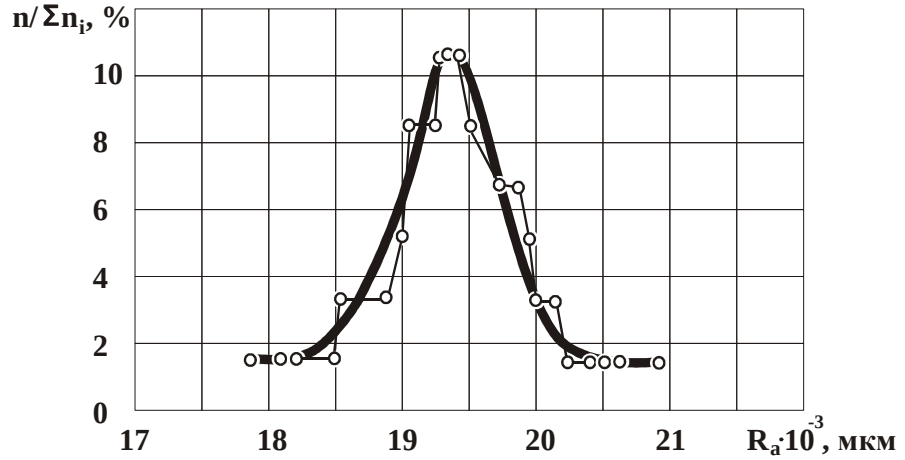


Рис. 1. Крива частот розподілення параметра Ra у межах однієї партії механічного оброблення ситалу: n – кількість зразків однієї партії, що мають однакові значення Ra; ∑ni – загальна кількість зразків у межах однієї партії (58 штук)

Методика визначення якості очищення поверхонь скла та ситалів включає комплекс критеріїв:

– здатність поверхні матеріалу після очищення до змочування дистильованою водою, яке визначається методом розриву водної плівки;

– здатність поверхні матеріалу після очищення до змочування дистильованою водою, яке визначається за крайовим кутом змочування методом лежачої краплі;

– визначення зміни ступеня кислотності (основності) поверхні, в порівнянні зі станом до очищення, за допомогою крайового кута змочування спеціальними реагентами методом лежачої краплі;

– зміна ваги зразків, забруднених контрольованим складом, до та після очищення;

– візуальний огляд контрольованої поверхні неозброєним оком та за допомогою мікроскопа під час збільшення х16, х100 (наприклад, МБС-9, МИМ-7);

– зміна мікрошорсткості (для виявлення залишкового забруднення на контрольованій поверхні та можливого її розтравлювання хімічними розчинами).

Методика, що розглядається, може використовуватися під час проведення досліджень, коли ще невідомий оптимальний варіант очищення.

Перед початком досліджень необхідно проводити попереднє очищення зразків та їх забруднення контрольованим складом.

Оцінювання здатності поверхні матеріалу після очищення до змочування дистильованою водою за методом розриву водної плівки проводиться за допомогою визначення часу (t_p), через який відбудеться руйнування водної плівки на поверхні зразка після його занурення у дистильовану воду (якісне очищення, коли водна плівка не руйнується протягом 60 с та більше після витягнення зразка з води).

Визначення здатності поверхні матеріалу після очищення до змочування дистильованою водою досить ефективно визначається за допомогою крайового кута змочування Θ методом лежачої краплі. Розтікання краплі по поверхні, що досліджується ($\Theta \to 0$), вказує на якісне очищення.

Під час визначення зміни ваги зразків до та після очищення вимірювання ваги можна проводити на рівноплечих вагах моделі ВЛР-200 г, які мають ціну поділення шкали 1 мг, ціну поділення ділильного приладу – 0,05 мг, погрішність вимірювання маси за шкалою – не більш 0,15 мг.

Ефективність очищувальної дії мийного засобу оцінюється параметром ΔM:

$$\Delta M = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

де m_1, m_2, m_3 – маси зразків, відповідно, до забруднення, забрудненого й очищеного, г.

Зміну мікрошорсткості можна визначати за допомогою профілограф-профілометра. Для кожного зразка повинен проводитися вхідний контроль після механічного оброблення та попереднього очищення на визначення параметра R_a поверхні, що досліджується. Для ситалу і скла перед забрудненням контрольованою речовиною величина мікрошорсткості повинна становити R_a = 0,019 $\pm$ 0,001 мкм.

Під час зварювання в електростатичному полі для отримання вакуумщільних з'єднань скла і ситалів між собою та з металами якісне очищення перших має місце за умови:

– $\Delta M \geq 100\%$;

– $t_p \geq 60\ c$;

– $\Delta R_a \to 0$, де ΔR_a – зміна мікрошорсткості поверхні, що контролюється, після хімічного очищення:

$$\Delta R_a = \frac{R_{a_2} - R_{a_1}}{R_{a_1}} \cdot 100\%, \qquad (2)$$

де R_{a_1} і R_{a_2} – середнє арифметичне відхилення профілю поверхні, відповідно, до забруднення та після очищення;

– $\Theta \to 0$;

– відсутності мікрочастинок забруднень на поверхні, що контролюється, в полі зору окуляра мікроскопа (х16, х100).

В умовах виробництва, коли вже відомий оптимальний варіант очищення матеріалів, що зварюються, достатньо використовувати вибірковий контроль з використанням визначення мікрошорсткості, здатності поверхні матеріалу після очищення до змочування дистильованою водою, яке визначається методом розриву водної плівки і візуальний огляд контрольованої поверхні неозброєним оком і зі збільшенням х16, х100 за допомогою мікроскопа.

Проміжний контроль. Під час проведення досліджень було зафіксовано, що під час зварювання в електричному полі величина струму, що проходить крізь скло, ситал (подальше діелектрик), під час зварювання змінюється аналогічно зміні струму абсорбції (струму, що спадає), який є наслідком поляризаційних процесів у діелектриках, які включені під постійну електричну напругу. На рис. 2 показано графік повного струму *i* крізь діелектрик, струму абсорбції $i_{абс}$ і наскрізного струму $i_{нас}$ під часу його включення під постійну електричну напругу *U* [5]:

$$i = i_{нас} + i_{абс} . \tag{3}$$

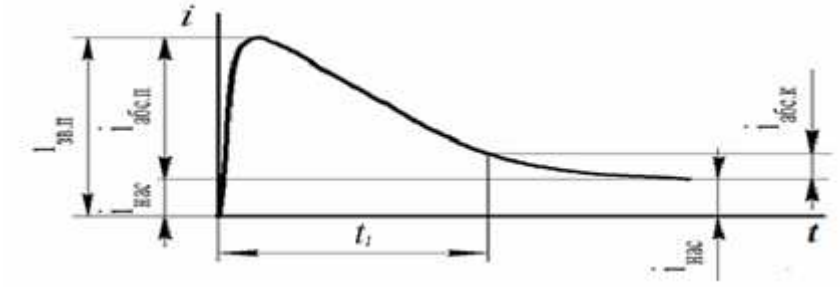


Рис. 2. Залежність повного струму крізь діелектрик від часу включення під постійну електричну напругу: $i_{нас}$ – наскрізний струм провідності крізь діелектрик; $i_{абс}$ п, $i_{абс}$ к – початковий та кінцевий струми абсорбції, який зафіксовано через час t_1

У загальному випадку наскрізний струм (струм провідності) встановлюється в діелектрику залежно від напруги *U* за час $t \to \infty$ і визначається за формулою (4), а струм абсорбції за формулою (5):

$$i_{нас} = \frac{U}{R_д}, \tag{4}$$

де $R_д$ – опір діелектрика;

$$i_{абс} = U_{sexc}(\frac{t}{\tau}), \tag{5}$$

де *s* – провідність діелектрика, що відповідає струму абсорбції;

τ – стала часу струму абсорбції (час протягом якого $i_{абс}$ зменшується в $e = 2{,}718$ разів і дорівнює піддотичній до графіка $i_{абс}(t)$).

Головною причиною появи стуму абсорбції є поляризація діелектрика (упорядковане зміщення зарядів в діелектрику) [5]. В цьому випадку мова йде про види поляризації, для встановлення яких потрібен певний час.

Під час досліджень (зварювали ситал СО-115М з ситалом СО-115М через прошарок алюмінію) фіксували зміну величини струму, що проходить крізь складання і визначали величину густини струму. На рис. 3 показано зміна густини струму від часу зварювання. Після досягнення відповідної температури зварювання на деталі, що зварювалися, подавали електричну напругу, яка б забезпечувала початкову задану величину густини струму $j_{зв.п.}$ Як бачимо з графіків, під час досягнення максимального значення густина струму

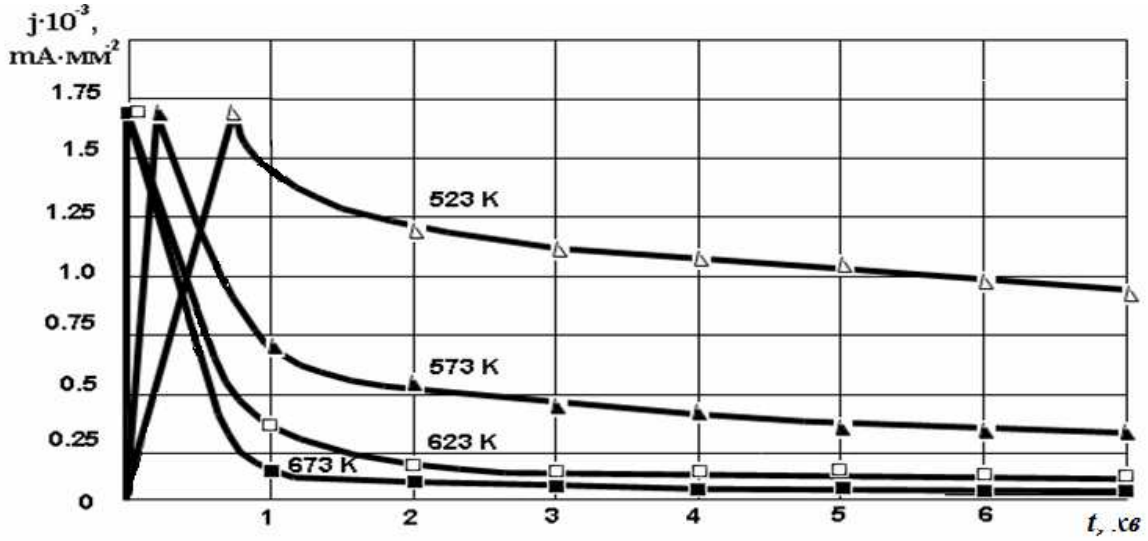
плавно спадає. Під час збільшення температури нагріву спад (зміна) густини струму Δj (6) збільшується.

На рис. 4 показано в узагальненому вигляді графік зміни густини струму від часу зварювання.

У зв'язку з цим, як допоміжний параметр під час вивчення особливостей ЗЕП діелектриків з іншими матеріалами, було використано величину Δj:

$$\Delta j = j_{зв.п} - j_{зв.к}\,, \tag{6}$$

де $j_{зв.\,п}$ та $j_{зв.\,к}$ – густина струму, що проходить крізь зону зварювання, відповідно, відразу після подачі електричного потенціалу на деталі, що зварюються, і в момент, що передує вимкненню зовнішнього електричного поля.



$j_{зв.п} = 1{,}7 \cdot 10$ mA·мм$^{-2}$

Рис. 3. Залежність густини струму від часу та температури зварювання

Величина Δj може характеризувати густину струму абсорбції ($\Delta j = \Delta j_{абс.}$) і повноту протікання поляризаційних процесів. Із врахуванням формули (3) формулу (6) можна представити в такому вигляді:

$$\Delta j_{абс} = (j_{абс.п} + j_{нас}) - (j_{абс.к} + j_{нас}) = j_{абс.п} - j_{абс.к}\,, \tag{7}$$

де $j_{абс.\,п}$, $j_{абс.\,к}$ та $j_{нас}$ – густина струму абсорбції в початковий та кінцевий моменти зварювання і густина наскрізного струму ($j_{нас} = const$);

$\Delta j_{абс}$ – зміна струму абсорбції протягом усього циклу подачі електричної напруги (рис. 4).

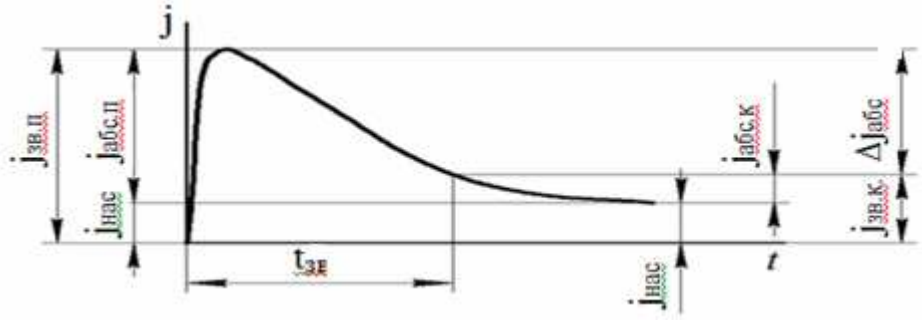
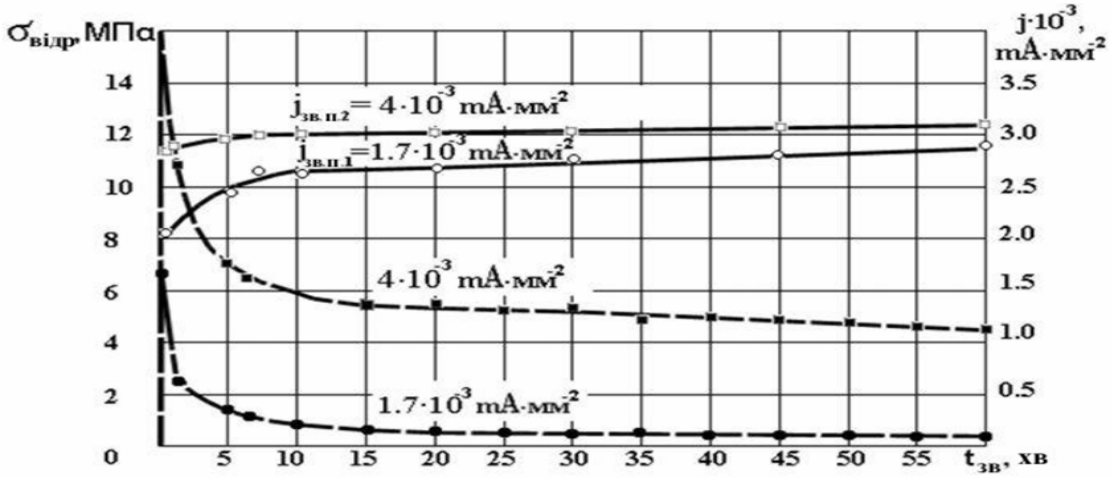


Рис. 4. Залежність густини повного струму крізь діелектрик від часу зварювання:
$j_{зв.\,п}$, $j_{зв.\,к}$ – початкова та кінцева густина повного струму зварювання; $\Delta j_{абс}$ – зміна густини струму абсорбції за час ($t_{зв}$) перебування діелектрика під напругою

На рис. 5 надано графік залежності міцності зварних з'єднань і густини струму, що проходить крізь діелектрик, від часу зварювання.



$T_{зв} = 573\ K$

Рис. 5. Залежність міцності зварного з'єднання на відрив (–) і зміни густини струму (- -) від часу зварювання

Графіки, що наведені на рис. 5, отримані за допомогою накладання залежностей $\sigma_{відр}(t_{зв})$ і $j(t_{зв})$. Є очевидним, що характер збільшення міцності зварного з'єднання збігається з характером спаду густини струму абсорбції. Працездатні з'єднання вже можна отримати при $t_{зв}$ = (5 – 10) хв, тобто, коли відбулася основна частина спаду струму абсорбції (коли $\Delta j = \Delta j_{абс} \rightarrow max$). Подальша витримка під напругою веде до збільшення міцності з'єднання.

Значення $\Delta j_{абс}$ має границі як у мінімальному, так і максимальному значеннях. Величина $\Delta j_{абс}$ нижче цієї границі не дозволить у повному обсязі реалізуватися поляризаційним процесам і будемо мати недостатню міцність зварного з'єднання. Перевищення, а це, як правило, пов'язано з підвищенням електричної напруги, веде до активізації електророзрядних процесів у зоні зварювання і порушення самого процесу [6]. Умови протікання електророзрядних процесів залежать від багатьох факторів: властивостей атмосфери, в якій проводиться зварювання; величини мікрошорсткості поверхонь вузла та їх забрудненості; форми вузла, що зварюється; теплофізичних властивостей матеріалів, що зварюються; температури зварювання тощо. Визначення вказаних границь повинно проводитися для конкретних умов зварювання в попередніх дослідженнях. Мінімальне значення $\Delta j_{абс,}$ за якого зварені вузли залишалися герметичними, і вирив при механічних випробуваннях по ситалу становив $1{,}0\cdot10^{-3}$ mA·мм$^{-2}$, а максимальне – $5{,}5\cdot10^{-3}$ mA·мм$^{-2}$ (вказані величини залежать від конкретних умов зварювання).

Під час зварювання в атмосфері повітря ($T_{зв}$ = 573 *K*, $t_{зв}$ = 5 хв, форма вузла наведена на рис. 6, поз. 2-4) при початковій густині струму $j_{абс.\,п} = 1{,}7\cdot10^{-3}$ mA·мм$^{-2}$ з'єднання залишалися працездатними ($\sigma_{від} \geq 10$ МПа*)* під час зміни густини струму абсорбції $1{,}35\cdot10^{-3}$ mA·мм$^{-2}$. Збільшення часу зварювання і початкової густини струму веде до збільшення $\Delta j_{абс}$ і міцності зварного з'єднання.

У загальному випадку діапазон зміни $\Delta j_{абс}$, у межах якого можна отримати якісне зварне з'єднання, залежить від діелектричної проникливості діелектрика, температури зварювання, початкової густини струму, часу подачі електричної напруги, форми вузла, що зварюється, властивостей атмосфери, в якій проводиться процес зварювання тощо.

Порівнюючи графіки залежності струму, густини струму від часу подачі напруги (рис. 2-4) та розглядаючи їх у взаємозв'язку з графіками зміни міцності від часу подачі напруги, можна зробити висновок про пряму залежність міцності зварного з'єднання

при ЗЕП від процесів поляризації, що проходять у ситалі (діелектрику) під час зварювання.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що величину $\Delta j_{абс}$ можна розглядати як критерій якості зварювання під час проведення зварювальної операції. Про зміну $\Delta j_{абс}$ можна безпосередньо судити за зміною величини густини струму (величині струму) протягом виконання технологічної операції зварювання. У процесі зварювання, окрім контролю температури зварювання, необхідно проводити контроль величини спаду струму, що проходить срізь діелектрики, що зварюються.

Контроль експлуатації зварювального обладнання. Контроль експлуатації обладнання повинен проводитися відповідно до інструкцій, що надаються разом з документацією на обладнання (періодичні огляди, діагностика приладів, що входять до складу зварювальної установки тощо).

Заключний контроль. Заключний контроль зварного з'єднання може бути двох видів:

- контроль моделі (макета);
- контроль реального об'єкта.

Метод модулювання є достатньо поширеним під час проведення досліджень та використовується під час відпрацювання оптимальних режимів зварювання. Найбільш бажаним варіантом є використання методу масштабного моделювання. За цим методом виготовляється модель зварної конструкції (вузла) значно менших розмірів з витримкою подібності: форми, режимів зварювання, температурних полів, деформацій і переміщень.

Використання моделей дозволяє проводити дослідження з використанням випробувань, що руйнують, і визначати механічні характеристики зварного вузла.

ЗЕП у більшості використовується для отримання прецизійних вузлів, складові яких мають достатньо велику вартість і виготовлені з дефіцитних матеріалів. Тому метод моделювання є достатньо привабливим для випадків, що розглядаються. Приклад однієї з таких моделей наведено на рис. 6.

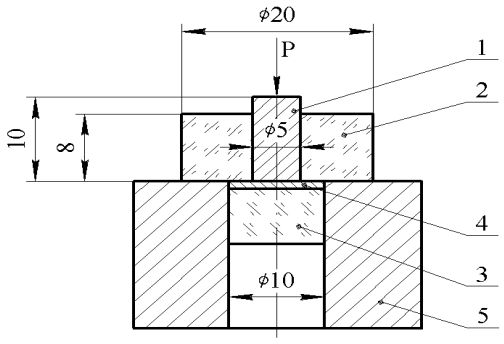


Рис. 6. Схема моделі вузла для проведення механічних випробувань на відрив: 1 – пуансон; 2-4 – макет вузла (4 – прошарок (прокладка) алюмінію, що використовувався під час зварювання); 5 – опора

Сила відриву для випадку, що розглядається, може становити декілька десятків кгс. У такому випадку використання типового обладнання для проведення механічних випробувань призводить до значної погрішності, що не допустимо. Тому було розроблено і виготовлено відповідне устаткування (рис. 7) для проведення механічних випробувань на відрив для моделей, що зображено на рис. 6. Обладнання комплектується динамометричною скобою ДС-02 і дозволяє створювати максимальний тиск на вузол, що випробується, до 2 кН (200 кгс).

Окрім механічних випробувань, для моделі проводять також інші види контролю, що і для реальних об'єктів.

Під час контролю реальних об'єктів, як правило, виключаться випробування, що руйнують. До випробувань для випадку, що розглядається, відносяться такі випробування:

візуальний огляд звареного вузла неозброєним оком та за допомогою лупи, металографія, повторні нагріви до заданих температур; термоудари в камері тепла та холоду; механічні діяння на вібростенді; механічні удари на ударному стенді; поляризаційно-оптичні обстеження вузлів, перевірка на вакуумщільність тощо [4].

Ефективним є контроль для визначення дефектів зварювання з використанням металографії для оптично прозорих об’єктів, який дозволяє без руйнування досліджувати площину зварювання (рис. 8).

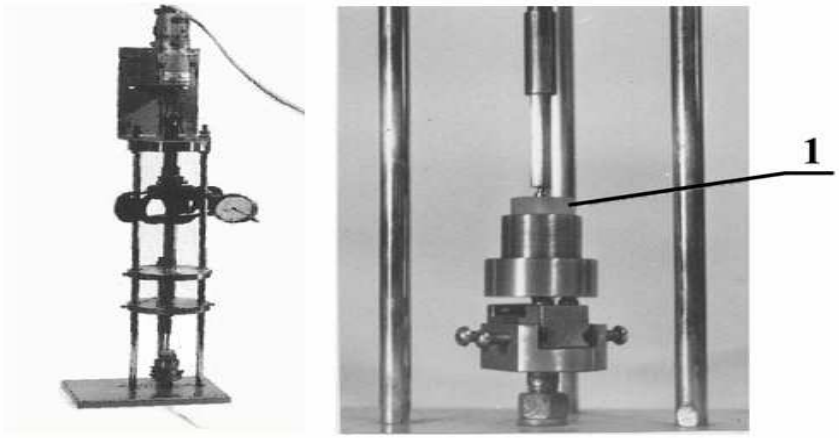


Рис. 7. Установка для механічних випробувань на відрив: а – загальний вигляд установки для механічних випробувань зварних вузлів; б – пристрій для установки вузла (макета), що випробується (поз. 1)

На рис. 8 показано стан алюмінієвої фольги, яка використовувалась як прокладка при ЗЕП вузлів ситал – алюміній – ситал, до та після зварювання. Фольга виготовлялася прокатуванням і мала товщину 0,04 ± 0,002 мм. На рис. 8, *а* зафіксовано стан алюмінію до початку зварювання. Бачимо сліди від прокатування фольги під час її виготовлення. На рис. 8, *б* показано стан алюмінію після зварювання (х140). У площині зварювання мають місце дефекти (непровари і пропали).

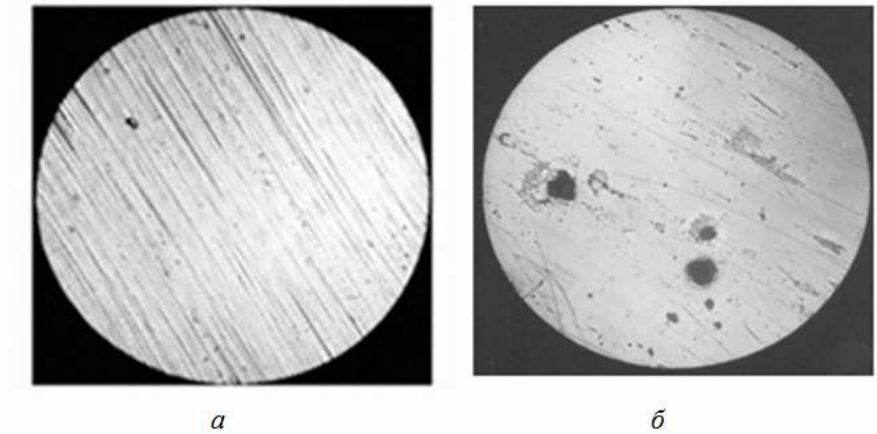


Рис. 8. Стан алюмінієвої прокладки до (а) та після зварювання (б)

Точковий метод [7] металографії дозволяє визначити відносну площу дефектів у площині зварювання без руйнування моделей. На рис. 9 зафіксовано одне з положень поля зору під час визначення відносної площі пропалів і непроварів (х140).

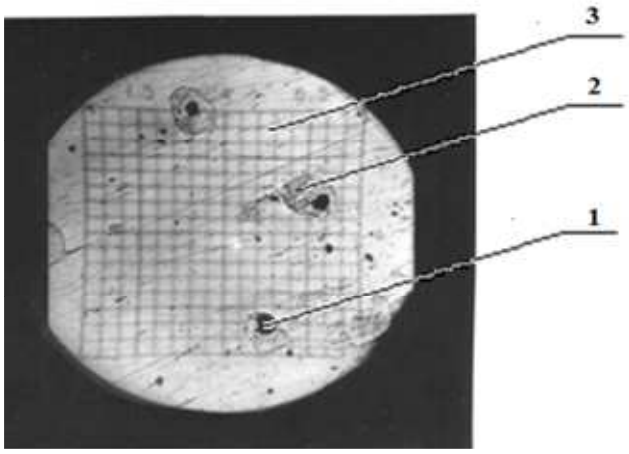


Рис. 9. Визначення кількості пропалів та непроварів у площині зварювання на мікроскопі МИМ-7: 1 – пропал; 2 – непровар; 3 – сітка, що встановлюється в окуляр мікроскопа і накладається на кожне поле зору

Висновки

1. Проведено системний аналіз критеріїв якості на всіх етапах виготовлення зварних вузлів під час зварювання в електричному полі високої напруги.

2. Розроблені критерії попереднього, проміжного, заключного контролю якості зварювання діелектричних матеріалів у зовнішньому електричному полі високої напруги.

3. Надані практичні рекомендації для використання критеріїв якості зварювання вузлів, що отримані зварюванням в електричному полі високої напруги, на всіх етапах його виготовлення.

4. Показано вплив процесів поляризації діелектрика, що зварюється, в зовнішньому електричному полі високої напруги на якість зварних з'єднань.

Список використаних джерел

1. *Березін Л. Я.* Напрямки використання зовнішніх електричних полів для отримання нероз'ємних з'єднань різнорідних матеріалів / Л. Я. Березін // Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки». – Чернігів, 2011. – № 4 (53). – С. 94-103.

2. *Березин Л. Я.* Особенности предварительной подготовки к сварке ситалла с алюминием в узлах приборов / Л. Я. Березин, В. Г. Панаетов, О. Г. Усышкин // Технология авиационного и агрегатостроения : производст.-техн. сб. – Саратов : НИТИ, 1987. – № 3-4. – С. 31-33.

3. *Березін Л. Я.* Вплив хімічного очищення поверхні ситалу на якість з'єднання з алюмінієм зварювання в електростатичному полі / Л. Я. Березін, С. В. Олексієнко, Т. М. Недей // Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки». – Чернігів, 2004. – № 21. – С. 130-135.

4. *Березін Л. Я.* Ситали, скло в будівництві і машинобудуванні та способи їх з'єднання / Л. Я. Березін, І. О. Прибитько // Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки» : наук. зб. – Чернігів, 2012. – № 4 (61). – С. 63-70.

5. *Тареев Б. М.* Физика диэлектрических материалов : учеб. пособие для вузов / Б. М. Тареев. – М. : Энергоиздат, 1982. – 320 с.

6. *Березин Л. Я.* Роль электроразрядных процессов при получении неразъемных соединений металлов с неметаллами в электростатическом поле / Л. Я. Березин, Д. И. Котельников // Электронная обработка материалов. – 1991. – № 6. – С. 64-66.

7. *Салтыков С. А.* Стереометрическая металлография (стереометрия металлических материалов). – М. : Металлургия, 1976. – 271 с.

УДК 621.791.3

М.Г. Болотов, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМИ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ З ПОРОЖНИСТИМ КАТОДОМ СТОСОВНО ДО УМОВ ЗВАРЮВАЛЬНОГО НАГРІВУ

У роботі проведено дослідження властивостей плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, та встановлено можливості її застосування для нагріву під час дифузійного зварювання.

Ключові слова: *плазма, тліючий розряд, порожнистий катод, дифузійне зварювання.*

В работе проведено исследование свойств плазмы тлеющего разряда, горящего в полом катоде, и установлена возможность ее применения для нагрева при диффузионной сварке.

Ключевые слова: *плазма, тлеющий разряд, полый катод, диффузионная сварка.*

In the paper focuses on the properties of the plasma glow discharge burning in the hollow cathode, and the potential for its application to heat of diffusion welding.

Key words: *plasma, glow discharge, hollow cathode, diffusion welding.*

Вступ. Потреби радіоелектроніки, космічної техніки, приладобудування і машинобудування призвели до бурхливого розвитку методів зварювання без розплавлення для виготовлення великої номенклатури виробів, що розрізняються за матеріалами, формою, габаритами, але об'єднаних такими вимогами до технології зварювання, як:

1) збереження у зварюваних матеріалів високих експлуатаційних властивостей, які під час зварювання плавленням могли б безповоротно зникнути;

2) забезпечення прецизійності зварного з'єднання;

3) забезпечення якісного з'єднання між матеріалами різними за складом або за природою.

Дифузійне зварювання є найбільш універсальним методом з погляду повноти задоволення зазначених вимог до технології процесу з'єднання. Б.Є. Патон – називав цей метод "зварюванням майбутнього", бо він уже нині забезпечує з'єднання понад 700 композицій з різних матеріалів [1].

Широке впровадження методу дифузійного з'єднання різноманітних матеріалів пов'язане з необхідністю вирішення деяких технологічних проблем:

1) у зоні зварювання тепловий вплив на матеріали протягом тривалого циклу зварювання має бути точно регульованим за потужністю, інтенсивністю і формою розподілу енергії;

2) деталі, що зварюються, приводяться в контакт з деяким зусиллям, створюваним притискними пристроями, що збільшує масу, яка піддається нагріванню і викликає підвищення витрат енергії, ускладнює динаміку нагріву;

3) механізм утворення дифузійного зварного з'єднання встановлює складні взаємозв'язки між формою виробу, що нагрівається, і зовнішніми технологічними параметрами, які забезпечують протікання процесу.

У дифузійному зварюванні надзвичайно різноманітні форми виробів і поєднання з'єднуваних матеріалів, що зумовило застосування практично всіх існуючих способів нагріву – від пічного до електронно-променевого. При цьому зварні з'єднання в більшості стикові з розвиненою поверхнею контакту, напускові, охоплюючі з конічною або циліндричною поверхнею контакту. Різноманіття форм і матеріалів виробів роблять задачу оптимального вибору джерела нагріву досить складною. Для її вирішення необхідне знання кількісних характеристик взаємозв'язків параметрів об'єктів, що зварюються, джерел теплоти і теплофізичних особливостей дифузійного зварювання. Останні складаються у наступному:

1) нагрів зварних з'єднань (зварного контакту) здійснюється за допомогою теплопровідності від зовнішньої поверхні виробу, що сприймає енергію джерела теплоти;

Виняток становить нагрів струмом, що проходить через деталі та зону їх контакту. Обмеженість його застосування під час дифузійного зварювання обумовлена складністю управління енерговиділенням у контакті при дуже широкому діапазоні зміни площі зварних з'єднань і електропровідності зварюваних матеріалів, обмеженнями за формою, габаритами та матеріалом виробів. Тому, як правило, джерела нагріву, що використовуються в дифузійному зварюванні, є поверхневими і весь виріб або його значна частина нагрівається до температури зварювання. Навіть під час індукційного нагрівання при частоті генератора в десятки і сотні кілогерц глибина проникнення струму в метал становить долі міліметра;

2) нагрівання виробу, що зварюється, неминуче пов'язане з нагріванням пристосувань, що забезпечують його стиснення. Енергія, що поглинається пристосуванням, може значно перевищувати енергію, необхідну для отримання зварного з'єднання, що обумовлює енергетичну надмірність процесу;

3) нагрівання й охолоджування в процесі зварювання здійснюють зі швидкостями 0,01 ... 100 К/ с. Час ізотермічної витримки під час дифузійного зварювання становить сотні і тисячі секунд. Температурний цикл зварювання подібний режиму термічного оброблення, оскільки температура зварювання не перевищує 0,9 температури плавлення матеріалів, що обмежує інтенсивність енергії, яка вводиться через поверхню виробу;

4) нагрівання виробу, що зварюється, здійснюється в захисному газовому середовищі (нейтральному або активному), незважаючи на те, що поверхні, які з'єднуються, знаходяться у щільному контакті і стискаються питомим тиском близько 10 ... 30 МПа;

5) форми і площі поверхонь, що приймають тепло від джерела, дуже різноманітні.

Залежно від форми і матеріалу виробу ці умови можуть змінюватися в дуже широкому діапазоні. Під час вибору джерела енергії необхідно оцінювати ступінь його універсальності і ступінь його спеціалізації, щоб отримати найбільший техніко-економічний ефект від його застосування. Це можливо при оптимальній відповідності обладнання технологічним і економічним вимогам.

Очевидно, що немає універсального джерела нагріву, придатного для всіх випадків зварювання тиском. Навіть для технологічно найбільш складного варіанта зварювання тиском (тобто дифузійного зварювання) є можливості для вибору оптимальних варіантів нагріву, виходячи з особливостей виробництва виробів, фізико-технологічних характеристик джерел і необхідного діапазону їх зміни.

У роботах М. Ф. Казакова, В. О. Бачина, В. Ф. Квасницького, В. С. Ваніна, С. К. Картавого, І. М. Мухи, А. Ф. Худишева та ін. випробувані стосовно дифузійного зварювання різні джерела нагріву. Досвід лабораторного і промислового застосування дифузійного зварювання свідчить, що з використовуваних на сьогодні джерел енергії (індукційний, радіаційний, електроконтактний та ін.) найбільш повно зазначеним вимогам відповідає нагрів виробів тліючим розрядом, що горить у середовищі активних або інертних газів при тиску нижче атмосферного, що дозволяє в широких межах регулювати інтенсивність нагріву та розподіл теплової енергії в процесі фізико-технічного оброблення матеріалів [2].

Дослідження, виконані у різні часи В. С. Ваніним, В. І. Дятловим, І. М. Мухою, Д. І. Котельниковим, Є. О. Жиловим, О. Л. Сиваковим, А. А. Бабад-Захряпіним, Г. Д. Кузнєцовим, Ю. М. Лахтіним, показали високу ефективність і перспективність використання тліючого розряду як джерела нагріву під час дифузійного зварювання, паяння і хіміко-термічного оброблення.

Досвід застосування тліючого розряду в дослідних і промислових умовах свідчить, що нагрівання розподіленою плазмою тліючого розряду середніх тисків (1 ... 10 кПа) розширює можливості зварювання тиском різнорідних матеріалів, дозволяє розробляти принципово нові конструкції зварних вузлів.

За допомогою тліючого розряду вирішуються основні проблеми дифузійного з'єднання: стає можливим відмовитися від високого вакууму, що істотно спрощує обладнання та сам процес зварювання, вартість устаткування знижується в 3 ... 4 рази; в 6 ... 7 разів підвищується енергетична ефективність процесу нагріву; висока адаптивність іонного нагріву робить його універсальним, що визначає доцільність його використання не тільки в масовому, але і в серійному та одиничному виробництвах [3]. Тліючий розряд дозволяє не тільки нагрівати вироби, але і проводити тонке поверхневе оброблення з метою активації поверхонь, що з'єднуються, або модифікації їх властивостей.

Постановка проблеми. Існування ефекту порожнистого катода пов'язано з осциляцією всередині катодної порожнини значної кількості швидких електронів, емітованих з поверхні катода і прискорених в області темного катодного простору. Величина електронного струму розряду визначає інтенсивність нагріву деталей, що зварюються, і залежить від концентрації і рухливості вільних електронів.

Тому для подальшого вивчення особливостей зварювального нагріву тліючим розрядом у порожнистому катоді необхідно провести комплекс досліджень локальних властивостей плазми розряду, що пов'язані з визначенням концентрації саме швидких електронів, які більшою мірою впливатимуть на інтенсивність процесу.

Методи та результати. Як інструмент діагностики плазми тліючого розряду, що горить у порожнистому катоді, використовували електричний зонд.

Методика вимірювань полягає в тому, що у катодну частину розряду вводиться допоміжний електрод, виконаний з тонкого прутка вольфраму діаметром 0,5 мм і покритий керамічною ізоляцією, що має оголену частину довжиною 5 мм. Зондовий струм замикався через анод, тому полярність джерела напруги обрана так, щоб потенціал зонда був нижче потенціалу анода, проміжним між потенціалами анода і катода, щоб не викликати збурень у розрядній плазмі.

Дослідження плазми розряду проводили згідно зі схемою, наведеною на рис. 1.

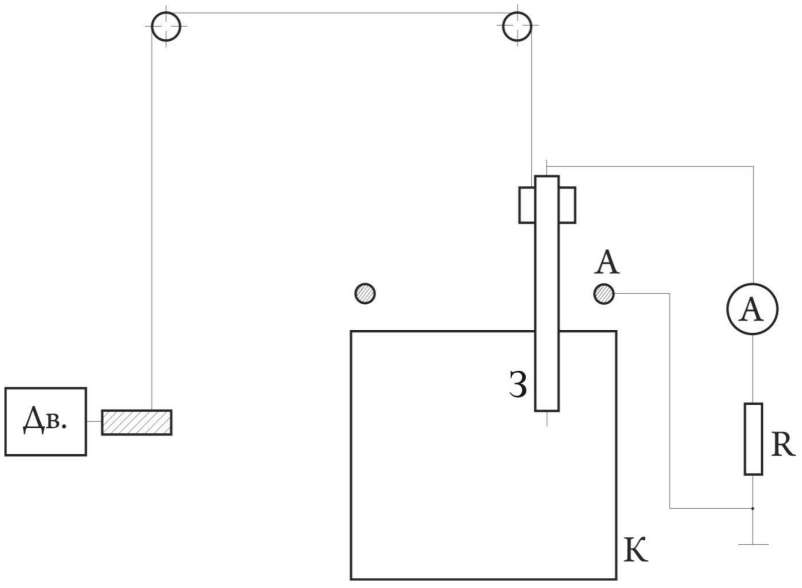


Рис. 1.Схема зондових вимірювань:
Дв – електродвигун; З – електричний зонд; К – катод; А – анод

Експеримент полягав у вимірюванні струмів, що протікають через зонд. За допомогою зондової методики були отримані вольт-амперні характеристики плазми тліючого розряду з порожнистим катодом.

Зондову вольт-амперну характеристику знімали в середовищі залишкових атмосферних газів при тиску 26 Па. Струм розряду підтримувався постійним на рівні 0,05 А.

Зонд приводився в рух реверсивним електродвигуном, розміщеним всередині розрядної камери, за допомогою якого він міг опускатися і підніматися. Живлення електродвигуна здійснювали від джерела НД-24.

Оскільки свою рухливість емітовані з поверхні катода електрони набувають в області темного катодного простору, що характеризується високим падінням напруги, тому для отримання ВАХ плазми в цій області на зонд подавався змінний потенціал від 0 В до -100 В.

Як видно з представлених на рис. 2 кривих, зондові ВАХ тліючого розряду з порожнистим катодом мають помітну схожість з ідеальною зондовою ВАХ, отриманою Ленгмюром у 1923р [4].

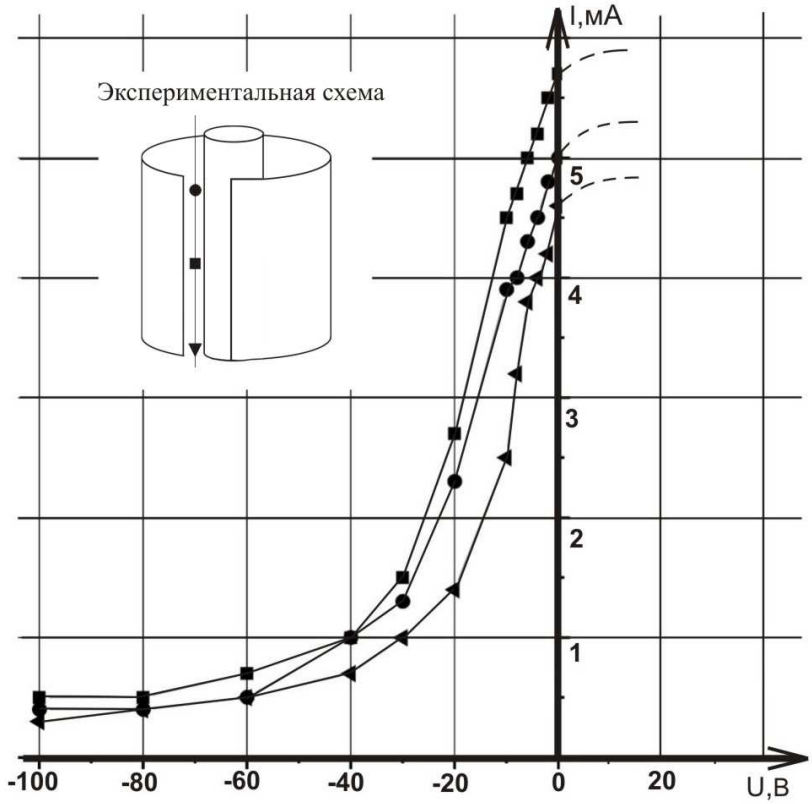


Рис. 2. Зондова вольт-амперна характеристика плазми тліючого розряду з порожнистим катодом

На ВАХ слід виділити ділянку від -40 до 0 В, на якій зонд фіксує стрімке зростання струму. Тут через просторовий заряд проходять не тільки швидкі, але і менш рухливі електрони, енергія яких достатня для подолання різниці потенціалів між плазмою розряду і зондом. Далі зонд насичується всіма доступними електронами.

У зв’язку з цим просторовий розподіл концентрації електронів визначали при потенціалі на зонд -20 В, при якому на поверхню зонда надходять електрони, що мають ще досить високу енергію. Розподіл концентрації швидких електронів усередині катодної порожнини визначали як при осьовому, так і радіальному переміщенні зонда щодо порожнини катода.

Всі дослідження здійснювали на сталевому катоді діаметром 0,04 м у середовищі азоту і залишкової атмосфері при тисках 19 ... 53 Па.

Значення максимального електронного струму фіксували дзеркальним міліамперметром типу М502 класу 0,1. Швидкість руху зонда становила 0,5 см/с. У кожній точці вимірювання проводилися кілька разів, а потім результати усереднювалися. Дослідження проводили в умовах, коли всередині катода перебувала сталева деталь діаметром 0,008 м і без деталі всередині порожнини.

Розподіл концентрації електронів по висоті катода досліджували в умовах, коли всередині катода перебувала сталева деталь діаметром 0,8 мм. Зонд занурювався углиб катода на відстань 0,005 м, 0,01 м, 0,02 м, 0,03 м і 0,04 м, як показано на рис. 3.

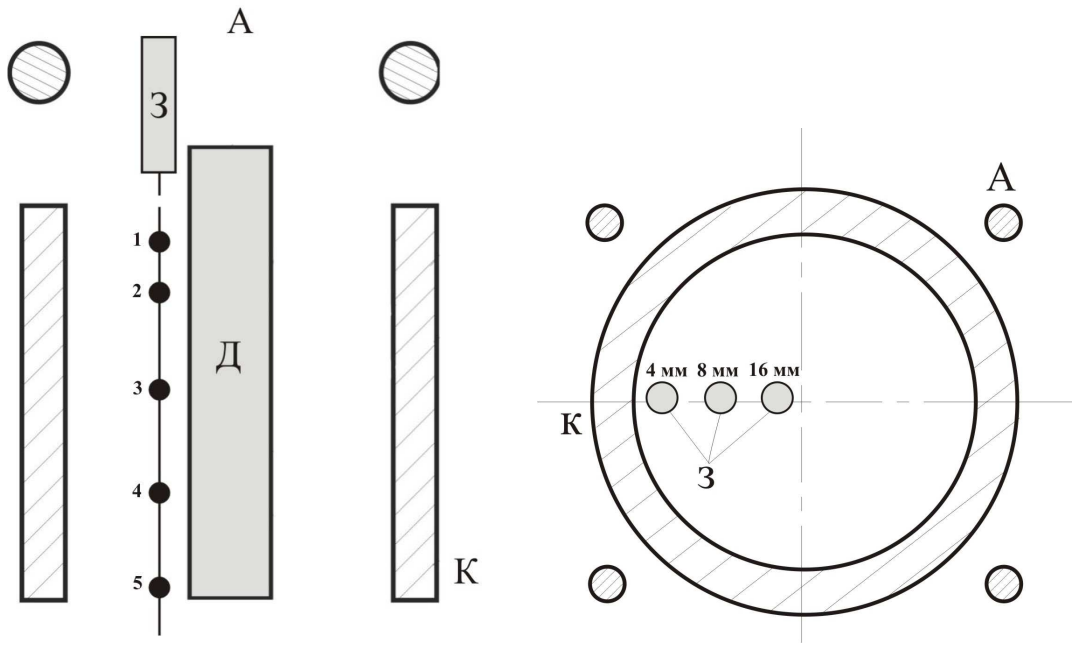
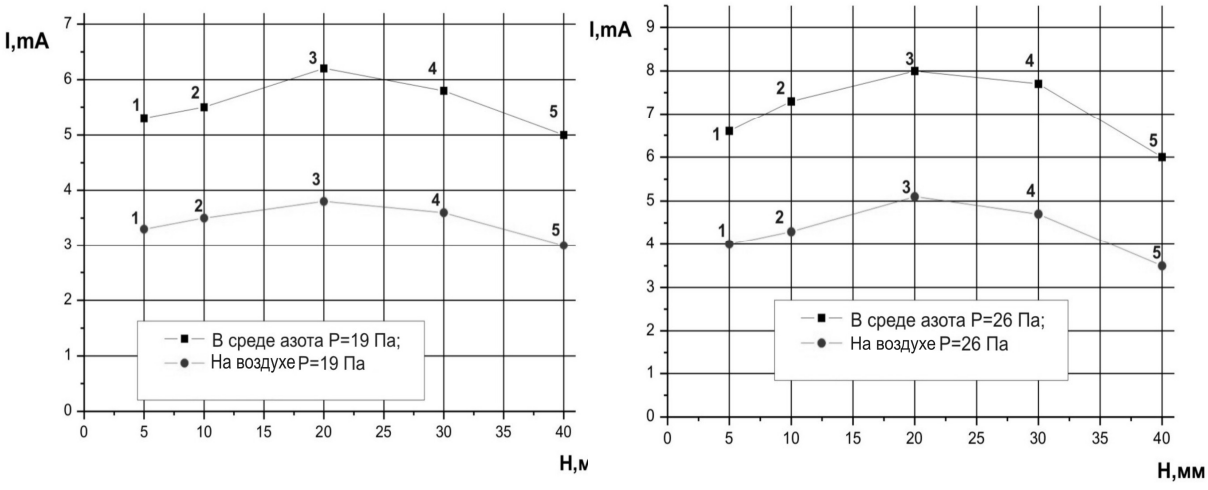


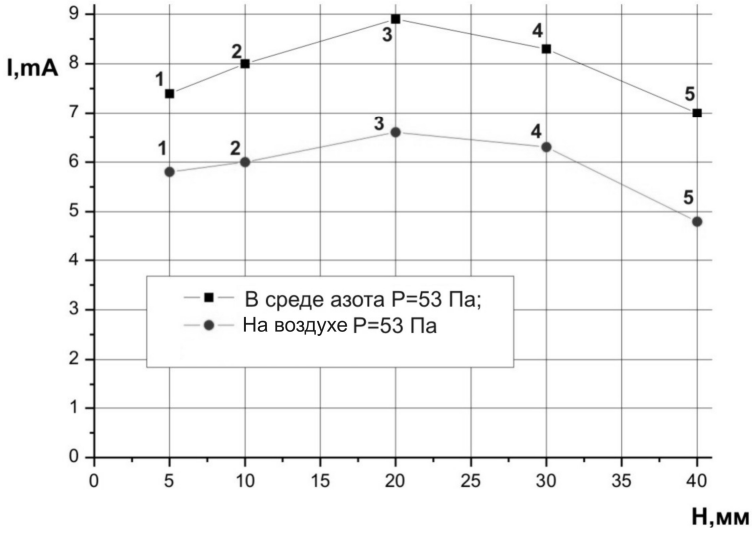
Рис. 3. Схема зондових вимірюваннь:
К – катод; Д – деталь; З – зонд

Експериментально отримані залежності, представлені на рис. 4, показують, що концентрація електронів по висоті катодної порожнини змінюється незначно і це обумовлює рівномірність нагріву тліючим розрядом у порожнистому катоді. Найбільша частина електронів припадає на середину деталі, яка відповідає точці 3 на (рис. 3), при подальшому зануренні зонда величина електронного струму незначно знижується. Це пов’язано з тим, що рух емітованих з поверхні катода електронів під дією значної сили електричного поля направлено у бік найближчого до анода відкритого торця катодної порожнини.



а *б*

Рис. 4. Результати вимірювання електронного струму I по висоті катодної порожнини H у разі, коли зонд перебував поблизу деталі при тисках газу:
а) 19 Па; б) 26 Па; в) 53 Па



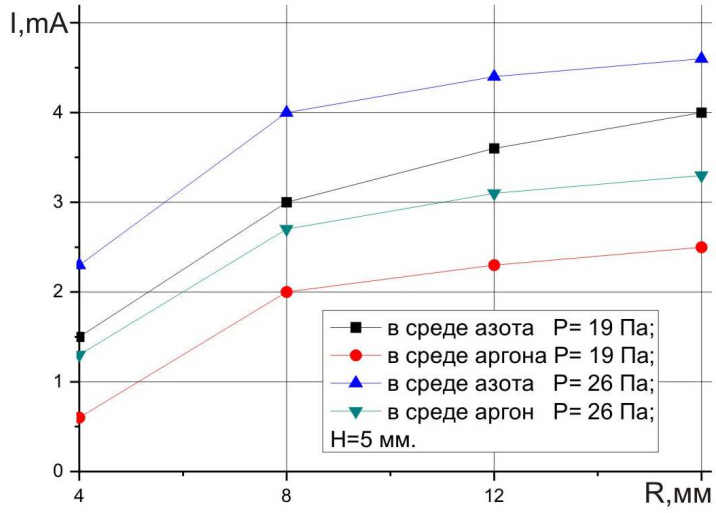
в

Рис. 4. Закінчення (див. також с. 116)

Результати досліджень електронного струму при радіальному переміщенні зонда щодо стінки катода представлені на рис. 5.

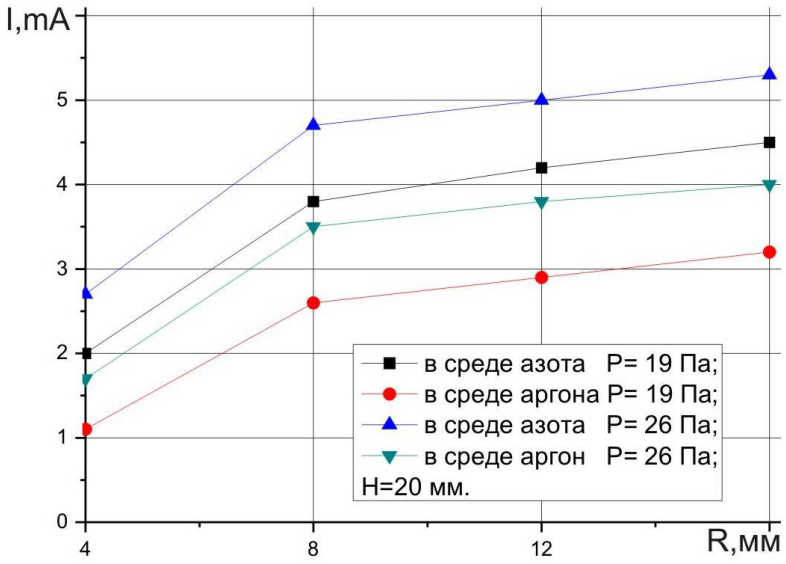
Криві показують, що з видаленням зонда від стінки катода на відстань від 0,004 м до 0,016 м величина електронного струму зростає більше, ніж у 2 рази. Це пов'язано з тим, що електрони, емітовані з поверхні порожнистого катода, внаслідок значного падіння потенціалу в області темного катодного простору з деяким прискоренням рухаються у напрямку до області тліючого світіння, що є якимось електронним стоком, де вони починають втрачати свою енергію на іонізацію газу.

Внаслідок фокусування потоку електронів увігнутою поверхнею порожнистого катода концентрація електронів у поверхні деталі значно перевищує їх концентрацію у поверхні катода. Тому розташовуючи деталь на початку області негативного тліючого світіння, можна здійснювати інтенсивний зварювальний нагрів металевих і неметалевих вузлів.

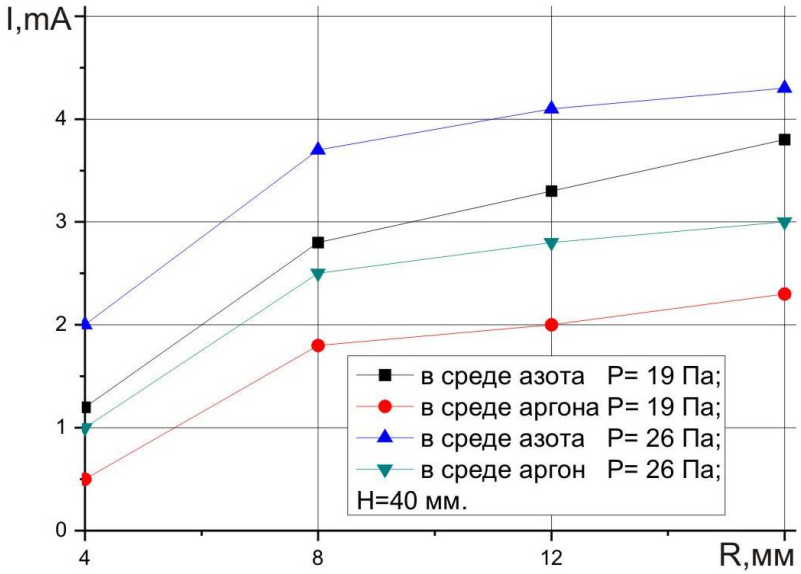


а

Рис. 5. Результати вимірювання електронного струму I при радіальному переміщенні зонда R у разі, коли зонд перебував на відстані:
а) 0,016 м від стінки катода, б) 0,008 м від стінки катода;
в) 0,004 м від стінки катода при тисках газу 19 і 26 Па



б



в

Рис. 5. Закінчення (див. також с. 117)

Слід зазначити, що в дослідах з вимірюванням концентрації електронів по висоті катода, коли всередині порожнини перебувала деталь, значення електронного струму були дещо вищі, приблизно в 1,3 ... 1,5 рази, ніж при радіальних вимірах плазми без деталі. Це пов’язано з тим, що деталь, перебуваючи всередині катодної порожнини, приводить до стиснення плазми, що супроводжується зменшенням протяжності катодної частини розряду d_k.

Внаслідок щільного прилягання катодної частини розряду до стінок порожнини збільшується інтенсивність іонізації, що приводить до підвищення емісії з катода, і, отже, до збільшення електронного струму розряду.

Таким чином, можна зробити висновок, що за характером теплового впливу на деталі, що зварюються тліючий розряд з порожнистим катодом є рівномірно розподіленим джерелом енергії.

Висновки. З використанням зондової методики проведені систематичні дослідження плазми ТРПК як у радіальному напрямку, так і по висоті катодної порожнини з визначення концентрації швидких електронів; встановлено, що концентрація електронів при радіальному дослідженні від внутрішньої стінки катода до негативного тліючого світіння зростає в 2 ... 3 рази, у той час як по висоті катода не більше ніж на 20 %, що обумовлює рівномірність і інтенсивність нагріву в ТРПК та дає підставу вважати ТРПК поверхневим рівномірно розподіленим джерелом зварювальної теплоти.

Список використаних джерел

1. *Дятлов В. И.* Диффузионная сварка в тлеющем разряде / Дятлов В. И. – Л. : ЛДНТП, 1968. – 26 с.

2. *Котельников Д. И.* Технологические особенности применения тлеющего разряда при сварке / Д. И. Котельников // Технология и организация производства. – 1976. – № 7. – С. 57-59.

3. *Бабад-Захряпин А. А.* Химико-термическая обработка в тлеющем разряде / А. А. Бабад-Захряпин, Г. Д. Кузнецов. – М. : Атомиздат, 1975. – 176 с.

4. *Козлов О. В.* Электрический зонд в плазме / О. В. Козлов. – М. : Атомиздат, 1969. – 144 с.

УДК 621.793.3

С.В. Олексієнко, канд. техн. наук
О.М. Савченко, канд. техн. наук
С.М. Ющенко, студент
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ФЛЮСОВЕ ВИДАЛЕННЯ ОКСИДНИХ ПЛІВОК ПІД ЧАС ПАЯННЯ АЛЮМІНІЮ ТА СПЛАВІВ НА ЙОГО ОСНОВІ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

Розглянуті можливі способи флюсового видалення оксидних плівок під час паяння алюмінію та його сплавів та визначені найбільш оптимальні з них.

Ключові слова: *алюміній, оксидна плівка, флюс, припой, фізичний контакт, змочування, розтікання.*

Рассмотрены возможные способы флюсового удаления оксидной пленки при пайке алюминия и его сплавов и определены наиболее оптимальные из них.

Ключевые слова: *алюминий, оксидная пленка, флюс, припой, физический контакт, смачивание, растекание.*

Possible ways of oxide film removal by flux brazing of aluminium and alloys are examined. The most optimal ways are defined.

Key words: *aluminium, oxide film, flux, braze, physical contact, wetting, spreading.*

Постановка проблеми. Впровадження алюмінію та його сплавів як конструкційних матеріалів у промисловість обумовлене їх перевагами порівняно з іншими конструкційними матеріалами: невелика питома вага, порівняно висока міцність, гарна оброблюваність різанням, висока корозійна стійкість, здатність легко деформуватися. Все це має велике значення у галузях машинобудування, авіа- та суднобудування, будівництва, електроніки та електротехніки.

Широке впровадження алюмінію та його сплавів викликало необхідність удосконалення методів отримання їх нероз'ємних з'єднань. Останнім часом розповсюдження набув процес паяння алюмінію, який має суттєві переваги перед його зварюванням: паяння дозволяє виготовляти складні за конфігурацією вузли та конструкції; отримувати роз'ємні та нероз'ємні з'єднання і з'єднання у малодоступних місцях; застосовувати температури та тиски на порядок менші, ніж під час зварювання; за рахунок рівномірного нагріву та охолодження під час паяння в печах та ваннах зменшувати залишкові напруження та деформації [1].

Відомо, що на поверхні алюмінію завжди є стійка тугоплавка оксидна плівка Al_2O_3 з температурою плавлення 2323 К. Вона характеризується високою питомою вагою (ρ = 3,97 г/см^3), високою адсорбційною здатністю до парів води та міцним зчепленням з

алюмінієм, викликаним подібністю кристалічних структур плівки та алюмінію. Все це перешкоджає утворенню контакту рідкого розплавленого припою з металом.

Утворення оксидної плівки на алюмінії під час контакту металевої поверхні алюмінію з киснем повітря відбувається дуже швидко. Природна оксидна плівка на алюмінії вже протягом перших декількох секунд досягає товщини близько 0,3 нм, а далі, хоча її ріст сповільнюється, через 30 хв вона вже становить 0,7 нм.

Для забезпечення фізичного контакту поверхонь, що паяються, під час паяння алюмінію та його сплавів необхідно зруйнувати оксидну плівку безпосередньо у процесі паяння.

У промисловості найбільш широко для видалення оксидної плівки у процесі паяння використовують флюси. Вони дозволяють видалити оксидну плівку з поверхні деталей, захищають метал від окислення, сприяють кращому розтіканню припою по поверхні, що паяється. Флюсове паяння є найбільш відомим, простим та доступним способом.

Мета статті. На основі узагальнення виробничого досвіду та огляду технічної літератури визначити найбільш перспективні засоби флюсового видалення оксидних плівок під час паяння алюмінію та сплавів на його основі.

Виклад основного матеріалу. У багатьох випадках велике значення має здатність флюсу взаємодіяти з металом, що паяється. Флюс, проникаючи через пори та тріщини в оксидній плівці та взаємодіючи з основним металом, сприяє видаленню оксидів [2]. Дослідження взаємодії флюсів з алюмінієвими сплавами показали, що алюміній вступає у реакцію заміщення з солями металів, що стоять нижче його у ряду активності, витісняючи та відновлюючи ці метали з їх з'єднань [3].

Нині існуючі неорганічні флюси складаються в основному з хлоридів та фторидів. Для створення флюсів використовують солі слабких кислот: соляної, плавикової, фосфорної. Для флюсів непридатні сильні розчинники оксидів, сульфати, нітрати, хлорати [4].

Броміди та йодиди мають низьку хімічну стійкість, тому не можуть бути застосовані як основа флюсу. Найбільш придатними солями для використання їх як флюсу є галоїдні солі лужних металів, зокрема їх хлориди [4].

Використання у флюсах хлоридів лужних металів, що слабо розчинюють оксиди алюмінію, як складових під час паяння алюмінію та його сплавів засноване переважно на їх здатності офлюсовувати (змочувати) оксидну плівку та утворювати між собою легкоплавкі евтектики, що слугують основою флюсів.

Найбільше застосування у ролі флюсів знайшли суміші хлоридів літію, натрію та калію, які завдяки невисокому поверхневому натягу добре змочують поверхню алюмінію та його сплавів.

Частіше за все за основу флюсу беруть евтектику LiCl-KCl або суміш цих солей [4]. Між собою вони утворюють легкоплавку евтектику з температурою плавлення 625 К, що дозволяє вводити у флюси на її основі більш тугоплавкі солі, зберігаючи при цьому мінімальну температуру плавлення. Хлориди інших лужних та лужноземельних металів утворюють між собою більш тугоплавкі евтектики.

Оскільки LiCl та KCl мають високу температуру кипіння (1653 та 1679 К відповідно), то евтектика LiCl-KCl стійка при температурі 873 К і не змінює своїх фізико-хімічних властивостей, що сприятливо впливає на процес паяння виробів у флюсових ваннах і великогабаритних виробів з алюмінію та його сплавів у печах.

Дослідження показали, що під час витримки зразків протягом 30-60 хв під шаром розчиненої евтектики LiCl-KCl при температурах 773-873 К хімічної взаємодії між основним металом та припоєм не виникає, евтектика розтікається по поверхні алюмінію рівномірно [4].

У роботі [4] вказується, що LiCl характеризується гігроскопічністю та більш високою вартістю, ніж NaCl та KCl, тому його вміст у флюсі намагаються зменшити, але

при цьому підвищується температура плавлення флюсу. Введення в евтектику LiCl-KCl хлориду натрію NaCl забезпечує утворення потрійної евтектики з дещо пониженою температурою плавлення (619 К) при зниженому вмісті високовартісного LiCl.

Додавання до хлоридів невеликої кількості фторидів дещо підвищує їх поверхневий натяг на межі з повітрям та оксидом алюмінію, збільшує крайовий кут змочування і погіршує змочуваність флюсом оксидної плівки [5].

У той же час ні один флюс для паяння алюмінію та його сплавів не може обійтися без фторидів, оскільки при їх відсутності у флюсах припої не розтікаються і паяння не відбувається [4].

Процес взаємодії алюмінію та його сплавів з розплавленими флюсами під час паяння обумовлений його розчиненням у розплавлених солях флюсу. Розчинення металу залежить від міжфазного натягу між металом і флюсом, зі збільшенням якого розчинення металу в розплавлених солях зазвичай знижується. Введення фторидів у флюс, незначно підвищуючи час розтікання флюсу по оксидній плівці, різко зменшує міжфазний натяг між алюмінієм та флюсом. Завдяки цьому покращуються умови для проникнення флюсу між алюмінієм та оксидною плівкою, а отже, і для її видалення, що є основним завданням флюсу [4; 6].

Витрати алюмінію, викликані його розчиненням у флюсі чи припої під час підвищення температури, можуть спричиняти ерозію алюмінію та його сплавів.

Результати дослідів по розчиненню алюмінію у розплавах хлоридів з додаванням фторидів показали, що витрати алюмінію при температурі паяння 833-883 К незначні та не здійснюють значного впливу на зменшення товщини паяних виробів навіть під час паяння тонкостінних виробів з товщиною стінки 0,1 мм [4].

Однак виробнича практика показує, що під час паяння великогабаритних конструкцій з алюмінієвих сплавів у печах з флюсом 34А у місцях стікання флюсу спостерігається значне місцеве розчинення металу, що паяється, іноді наскрізне при товщині стінок 1-2 мм, тобто хімічна ерозія [4].

Здатність розчиняти оксиди металів мають фториди лужних та лужноземельних металів, які широко використовуються у складі флюсів [4]. З цією метою у флюси для паяння алюмінію та його сплавів вводять NaF, KF, LiF та кріоліт Na_3AlF_6.

Кріоліт нерозчинний у воді, утворює з оксидом алюмінію просту евтектику з вмістом 14,4 % Al_2O_3 при температурі 1223 К. Додавання 8-10 % Na_3AlF_6 у флюси з хлоридів підвищує їх активність та збільшує розтікання [4].

Фтористий калій з температурою плавлення 1130 К добре розчинний у воді, а фтористий натрій ($T_{пл}$ = 1270 К) – малорозчинний у воді та менш отруйний, ніж KF.

Дослідження флюсів, що складаються з одних лише хлоридів лужних металів, зокрема потрійної евтектики LiCl-KCl-NaCl, показали, що припой П34 та евтектичний силумін зовсім не розтікаються по поверхні алюмінію, хоча така евтектика добре змочує поверхню алюмінію. Це пояснюється тим, що при цьому не відбувається видалення оксидної плівки з припою та металу. Введення навіть невеликої кількості NaF або KF у розплав хлоридів надає розплаву флюсуючі властивості й оксидна плівка видаляється [4].

При відсутності фторидів у флюсі видалення оксидів з поверхні алюмінію практично не відбувається. Фтористий натрій та кріоліт, додані до хлоридів, сприяють швидкому видаленню оксидної плівки Al_2O_3. При вмісті кріоліту у кількості 10 % час видалення Al_2O_3 становить лише 2 хв (табл.) [4].

При відсутності NaF у флюсі припой абсолютно не розтікається по алюмінію. Під час введення 2 % NaF – припой розтікається добре. Площа розтікання припою швидко зростає при вмісті NaF у флюсі до 8 %; подальше підвищення вмісту NaF суттєво не впливає на зміну площі розтікання [6]. Це пов’язано з підвищенням температури плавлення та зниженням рідкотекучості флюсу.

Таблиця

Вплив вмісту фторидів у флюсах на час видалення оксиду

Склад флюсу, %				Час видалення оксиду алюмінію
KCl	NaCl	LiCl	NaF	
42,75	37,75	19,5	-	35 % через 2 *год*
42,65	37,75	19,5	0,1	70 % через 2 *год*
42,25	37,25	19,5	1	80 % через 2 *год*
41,75	36,75	19,5	2	100 % через 1,5 *год*
41,5	36,5	19	3	100 % через 1,25 *год*
39,75	35,25	18	7	100 % через 20 *хв*
37,6	33,2	17,2	12	100 % через 3 *хв*
38,6	34	17,4	$3NaF \cdot AlF_3$=10	100 % через 2 *хв*

У роботі [7] експериментально встановлено, що найбільш ефективно паяння протікає при вмісті у флюсі 34А 5-8 % NaF. Під час збільшення його вмісту вище 8 % він не розчиняється в основі флюсу і випадає в осад. При вмісті у флюсі менше 5 % NaF його активність знижується. Дослідниками [7] було встановлено, що найкращими флюсами виявилися два, в одному з яких містилося 4 % NaF, а в іншому – 4 % $NaF+3\%CaF_2$.

Однак автори роботи [8] стверджують, що оптимальні властивості, які задовольняють гарному розтіканню по поверхні алюмінію та високій якості паяних з'єднань, має флюс такого складу: 49-51 % KCl, 22-25 % LiCl, 15-17 % NaCl, 8-10 % кріоліту $KF \cdot AlF_3$.

Проте розчинення оксидів у флюсі залежно від вмісту в них саме фторидів – порівняно довгий процес, що не приводить до повного видалення оксидної плівки [6]. Тому з метою покращення розтікання розплавленого припою по поверхні алюмінію у флюси вводять спеціальні активні речовини, які при температурі паяння вступають у хімічні реакції з оксидною плівкою чи основним металом. До таких речовин відносять солі важких металів ($ZnCl_2$, $CdCl_2$, $SnCl_2$ та ін.) та оксиди (наприклад, B_2O_3), які, взаємодіючи з оксидною плівкою, утворюють легкоплавку евтектику та переводять її у шлак.

Взаємодія алюмінію з хлоридами важких легкоплавких елементів відбувається за реакцією [4]:

$$xAl + 3MeCl_x = xAlCl_3 + 3Me\,. \quad (1)$$

Витіснений алюмінієм легкоплавкий метал висаджується на поверхні металу і, якщо при цьому температура металу, що паяється, вище температури плавлення флюсу, облуджує поверхню металу.

Деякі дослідники [4] вважають, що оксидну плівку алюмінію, окрім її розчинення, можна відновити хлористим воднем. З цією метою у суміш хлористих та фтористих солей лужних металів рекомендували вводити у невеликій кількості кислі, сірчанокислі солі калію та натрію, які при реакції з хлоридами та фторидами дають сульфати та хлористий і фтористий водень. Газоподібні HCl та HF відновлюють плівку Al_2O_3 до хлористого та фтористого алюмінію:

$$Al_2O_3 + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2O\,; \quad (2)$$

$$Al_2O_3 + 6HF = 2AlF_3 + 3H_2O\,. \quad (3)$$

Причому у цій роботі зазначається, що газоподібний $AlCl_3$, у силу свого високого парціального тиску, тисне на оксидну плівку та відриває її від рідкого алюмінію.

Експериментально встановлено, що наявність вологи, яка завжди міститься у флюсі та на поверхні деталей, що паяються, сприяє флюсуванню поверхні алюмінію. Фтористий водень при цьому стає реакційно здатним і може взаємодіяти з оксидом алюмінію, причому така взаємодія відбувається з самоприскоренням зі збільшенням води у системі:

$$Al_2O_3 + 6HF = 2AlF_3 + 3H_2O\,; \quad (4)$$

$$2Al(OH)_3 + 6HF = 2AlF_3 + 6H_2O\,. \quad (5)$$

Відомо, що хлористий цинк у складі флюсів може призводити до ерозії алюмінію [4]. Оскільки у більшості вітчизняних та зарубіжних флюсів для паяння алюмінію та його сплавів використовують хлористий цинк, необхідно застосовувати шляхи запобігання ерозії паяних виробів.

Згідно з даними [6] площа розтікання припою 34А на алюмінії до вмісту 6-8 % $ZnCl_2$ зростає інтенсивно, подальше збільшення його вмісту суттєво не впливає на розтікання припою. Причому оптимальний вміст $ZnCl_2$ у флюсах для паяння алюмінію та його сплавів становить ~10 %. Збільшення його вмісту до 20 % і вище дозволяє зменшити температуру плавлення флюсу, але призводить до зниження корозійної стійкості паяних з'єднань, а також до ерозії поверхні алюмінію.

Відомо, що флюс марки 34А, який містить у своєму складі евтектику LiCl-KCl, $ZnCl_2$ та NaF, знайшов широке застосування під час паяння алюмінію та його сплавів у силу своїх технологічних властивостей: висока активність, висока здатність до розтікання по поверхні алюмінію та до затікання у зазор [3; 4; 6]. У той же час виробнича практика показує [4], що під час паяння габаритних конструкцій з алюмінієвих сплавів у печах з флюсом 34А в місцях стікання флюсу спостерігається значне місцеве розчинення сплаву, іноді наскрізне, при товщині стінок 1-2 *мм*.

Щоб запобігти ерозії алюмінію, автори роботи [4] проводили дослідження по можливості заміни $ZnCl_2$ хлоридами інших важких легкоплавких металів, що забезпечують розтікання рідкого припою та слабо взаємодіють з алюмінієм при температурах паяння. Серед відомих легкоплавких металів (In, Tl, Ga, Hg, Pb, Bi, Cd, Sn) для досліджень було обрано хлориди кадмію та олова. Хлористий індій і талій дорогі та дефіцитні, галій утворює з алюмінієм дуже крихку евтектику з температурою плавлення 300 К, з'єднання ртуті, як відомо, токсичні та розкладаються при низькій температурі, свинець та вісмут дуже знижують корозійну стійкість паяних з'єднань алюмінію та його сплавів.

Оскільки кадмій та олово малорозчинні в алюмінії, під час розробки флюсу для паяння алюмінію та його сплавів автори [4] вивчали флюси з вмістом 1-10 % Cd та Sn. Кадмій погано змочує поверхню алюмінію, але хлорид кадмію має енергію дисоціації нижче (214 Дж/моль), ніж у інших хлоридів, за рахунок чого взаємодія між Al та $CdCl_2$ протікає швидко. При цьому формування паяних галтелей дещо гірше, ніж під час використання $ZnCl_2$.

Олово добре змочує алюміній, а хлорид олова має вищу енергію дисоціації (310,8 Дж/моль). Під час використання $SnCl_2$ реакція взаємодії хлориду з алюмінієм протікає повільніше, і на поверхні алюмінію олова висаджується значно менше, ніж кадмію. Тому автори [4] досліджували також флюси, що містять суміш $CdCl_2$ та $SnCl_2$. Як показали технологічні випробування флюсів, з погляду утворення у з'єднанні пор, непропаїв, тріщин, забезпечення змочуваності металу, утворення тонких галтелей, найкращим виявився флюс складу: 10 % NaF, 3 % $SnCl_2$, 38 % LiCl, 45 % KCl, 4 % $CdCl_2$. Також технологічним є використання флюсу без хлориду кадмію: 10 % NaF, 5 % $SnCl_2$, 32 % LiCl, 53 % KCl (майже з відсутністю пор у паяному шві).

У роботі [4] наведений склад флюсів для паяння алюмінію та його сплавів, що містять хлориди тугоплавких металів – срібла та міді. Ці елементи використані тому, що вони утворюють з алюмінієм легкоплавкі евтектики з температурою плавлення 838 *К* та 811 *К* відповідно. При взаємодії $CuCl_2$ та $AgCl_2$ з алюмінієм утворюється хлористий алюміній $AlCl_3$, Cu та Ag, причому у місці контакту з деталями під час нагрівання вище температури плавлення евтектики відновлені метали вступають у контактно-реактивне плавлення з алюмінієм і утворюють облуджуючий шар розплавленого металу-евтектики Al-Cu або Al-Ag.

Досліди на технологічність флюсів, що містять $CuCl_2$ та $AgCl_2$, показали, що найкращим виявився флюс такого складу: 10 % NaF, 38 % LiCl, 45 % KCl, 7 %AgCl . Порівняно з флюсом складу 10 % NaF, 38 % LiCl, 51 % KCl, 1 % AgCl, він дає більш грубі галтелі, відсутність включень флюсу та точкових непропаїв. При цьому слід враховувати високу вартість $AgCl_2$.

Відомі спроби заміни хлоридів цинку, олова та кадмію фторидами цих металів, але активність флюсів при цьому різко знижується, і якісне з'єднання отримати не вдається [6].

Висновки і пропозиції. Найбільше застосування у якості флюсів знайшли суміші хлоридів літію, натрію та калію, які завдяки невисокому поверхневому натягу добре змочують поверхню алюмінію та його сплавів.

Введення фторидів у флюс, незначно підвищуючи час розтікання флюсу по оксидній плівці, різко зменшує міжфазний натяг між алюмінієм та флюсом завдяки чому покращуються умови для проникнення флюсу між алюмінієм та оксидною плівкою і для її видалення. При відсутності фторидів у флюсі (фтористого натрію та кріоліту) видалення оксидів з поверхні алюмінію практично не відбувається.

З метою покращення розтікання розплавленого припою по поверхні алюмінію у флюси вводять спеціальні активні речовини, зокрема $ZnCl_2$, який, однак, може призводити до ерозії алюмінію.

Запобігання ерозії паяних виробів забезпечується через введення у склад флюсів $CdCl_2$, $SnCl_2$ та $AgCl_2$, але, у свою чергу, залежно від складу флюсу, не завжди вдається отримати високу якість паяних з'єднань при мінімальній вартості флюсу.

Компонент неорганічного флюсу LiCl характеризується гігроскопічністю та більш високою вартістю, ніж NaCl та KCl, тому його вміст у флюсі намагаються зменшити.

Нині актуальним завданням є пошук складу флюсу та технологічних прийомів ведення процесу паяння алюмінію та сплавів на його основі, які дозволять забезпечити ефективність видалення оксидної плівки за короткий проміжок часу, що особливо важливо під час отримання прецизійних з'єднань, а також мінімізувати вартість матеріалів під час проведення паяльних робіт.

Список використаних джерел

1. *Саликов В. А.* Специальные методы сварки и пайка: учеб. пособие / В. А. Саликов, М. Н. Шушпанов, В. В. Пешков, А. Б. Коломенский. – Воронеж : ВГТУ, 2000. – 214 с.

2. *Лашко С. В.* Пайка металлов / С. В. Лашко, Н. Ф. Лашко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.

3. *Лашко Н. Ф.* Флюсовая пайка в печах алюминиевых сплавов / Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко, А. М. Никитинский // Сварочное производство. – 1965. – № 11. – С. 18-20.

4. *Никитинский А. М.* Пайка алюминия и его сплавов. – М. : Машиностроение, 1983. – 192 с.

5. *Альтман М. Б.* Плавка и литье легких сплавов / М. Б. Альтман, А. А. Лебедев, М. В. Чухров. – М. : Металлургия, 1969. – 680 с.

6. *Петрунин И. Е.* Пайка металлов / И. Е. Петрунин, С. Н. Лоцманов, Г. А. Николаев. – М. : Металлургия, 1973. – 280 с.

7. *Петрунин И. Е.* Физико-химические процессы при пайке / И. Е. Петрунин. – М. : Высшая школа, 1972. – 280 с.

8. *Сторчай Е. И.* Флюсовая пайка алюминия / Е. И. Сторчай. – М. : Металлургия, 1980. – 124 с.

УДК 621.924.1/6

А.А. Рыбаков, канд. техн. наук
В.А. Костин, канд. техн. наук
Т.Н. Филипчук, ведущий инженер
Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина
И.А. Прибытько, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ШВОВ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДНЫХ ТРУБ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Проведенные исследования позволяют рекомендовать для обеспечения требуемого диапазона прочности (классов прочности Х60...Х80) и ударной вязкости сварных швов (KCV_{-40} > 47 Дж/см^2) сочетание ряда сварочных материалов – проволок (Mn-Mo, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ti-B и Mn-Mo-Ni-Ti-B) систем легирования и флюсов (кислого, нейтрального типа и флюса с небольшой основностью) с учетом условий эксплуатации газонефтепроводных труб современного производства.

Ключові слова: *дуговая сварка, сварочные материалы, легирование, микроструктура, трубные стали.*

Проведені дослідження дозволяють рекомендувати для забезпечення необхідного діапазону міцності (класів міцності Х60 ... Х80) й ударної в'язкості зварних швів (KCV_{-40}> 47 Дж/см^2) комбінацію ряду зварювальних матеріалів – дротів (Mn-Mo, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ti-B і Mn-Mo-Ni-Ti-B) систем легування і флюсів (кислого, нейтрального типу і флюсу з невеликою основністю) з урахуванням умов експлуатації газонафтопровідних труб сучасного виробництва.

Ключові слова: *дугове зварювання, зварювальні матеріали, легування, мікроструктура, трубні сталі.*

The research can be recommended for the desired range of strength (strength classes X60 ... X80) and impact toughness of welds (KCV-40> 47 J/cm2) combination of a number of welding materials - wires (Mn-Mo, Mn-Mo-Ni, Mn-Mo-Ti-B and Mn-Mo-Ni-Ti-B) alloying and fluxes systems including gas and oil pipe conditions of modern production.

Key words: *arc welding, welding materials, alloying, microstructure, pipe steels.*

Постановка проблемы. Современные сварочные материалы способны обеспечить получение высоких значений ударной вязкости металла шва и зоны термического влияния, хотя при этом нужно оптимизировать химический состав шва с учетом используемой стали.

Анализ последних исследований и публикаций. Как показывает опыт, в ходе массового производства труб, даже при условиях применения современных сварочных материалов не исключены случаи снижения ударной вязкости металла швов, наличие которых обусловлено, помимо их химического состава, другими технологическими факторами сварочного и смежных процессов, влияющих на формирование структуры металла шва и, как следствие, его ударную вязкость [1; 2].

К таким факторам относятся повторный нагрев металла предыдущего слоя шва в ходе выполнения следующего, изменение условий охлаждения металла шва, пластическая деформация металла при экспандировании труб, низкотемпературный технологический нагрев трубы при нанесении изоляционного покрытия и др. Эти факторы при определенных условиях могут привести к заметному снижению величин ударной вязкости и образованию холодных трещин.

Структурная неоднородность и, соответственно, ухудшение пластических и вязких свойств металла швов труб может проявляться на участках, где производится устранение дефектов с помощью дуговой сварки и в местах локального изменения химического состава.

Основными параметрами структурно-фазового состояния, влияющих на механические характеристики и ударную вязкость металла низколегированных швов, являются [3]:

- доля структурных составляющих (игольчатого феррита, мижзеренного полигонального или пластинчатого доэвтектоидной феррита, верхнего бейнита) и величина этих образований (их размер зерен);
- морфология и распределение микрофаз, представляющих собою мартенситно-аустенитно-карбидные комплексы (МАК-фазы);
- количество, размер и морфология неметаллических включений в металле шва;
- вязкость ферритной матрицы и ее склонность к дисперсионному твердению.

Цель статьи. Цель данной работы состоит в изучении особенностей формировании микроструктуры металла швов газонефтепроводных труб при дуговой сварке микролегированных сталей различных классов прочности К56...К65, выполненных различными сварочными материалами.

Изложение основного материала. Каждому сочетанию сварочных материалов и свариваемых изделий присущи определенные структурные характеристики, обеспечивающие требуемый уровень свойств. Ниже представлено структурно-фазовое состояние основных типичных систем легирования металла швов газонефтепроводных труб, сваренных с использованием уже известных или разработанных нами сочетаний свариваемых материалов.

В ходе работы были исследованы три сочетания трубных сталей – сварочных проволок и флюсов различной степени основности. Сварку выполняли сварочными проволоками Св-08Г1НМА (система легирования Mn-Ni- Mo-) и Св-08Г1МТА (системы легирования Mn-Mo-Ti-B-) и флюсами АН-60, АН-67Б и ОК 10.74.

Химический состав исследованых трубных сталей 10Г2ФБ и Х80 представлен в таблице.

Таблица

Химический состав исследованых трубных сталей

Тип стали	Содержание легирующих элементов в шве, % вес.							
	C	*Mn*	*Mo*	*V*	*Nb*	*Ni*	*Ti*	*B*
10Г2ФБ	0,09-0,12	1,55-1,75	–	0,09-0,12	0,02-0,05	–	0,010-0,035	–
Х80	0,06-0,08	1,69-1,714	0,22-0,27	0,02-0,03	0,02-0,03	0,18-0,21	0,018-0,022	0,0020-0,0030

Исследования показали, что из рассмотренных вариантов сочетания свариваеваемых сталей и сварочных материалов, швы, выполненные под плавленым флюсом АН-60 на стали 10Г2ФБ с содержанием углерода ~ 0,10 ... 0,12 %, микролегированной обычно ванадием и ниобием, имеют наименее благоприятный комплекс структурно-фазовых характеристик.

Структура металла внутреннего и внешнего швов, выполненных под этим флюсом сварочной проволокой Св-08Г1НМА (Mn-Mo-Ni-система легирования + кислый флюс), состоит из довольно крупнозернистого игольчатого феррита с коэффициентом формы χ порядка 2...5 в количестве 30...40 % и межзеренного и внутризеренного полигонального феррита различной формы в виде оторочек по границам первичного аустенитного зерна шириной от 5...30 мкм, цепочек отдельных удлиненных зерен и единичных образований массивного феррита, размер которых достигает примерно 60...120 мкм (рис. 1, *а*, *б*).

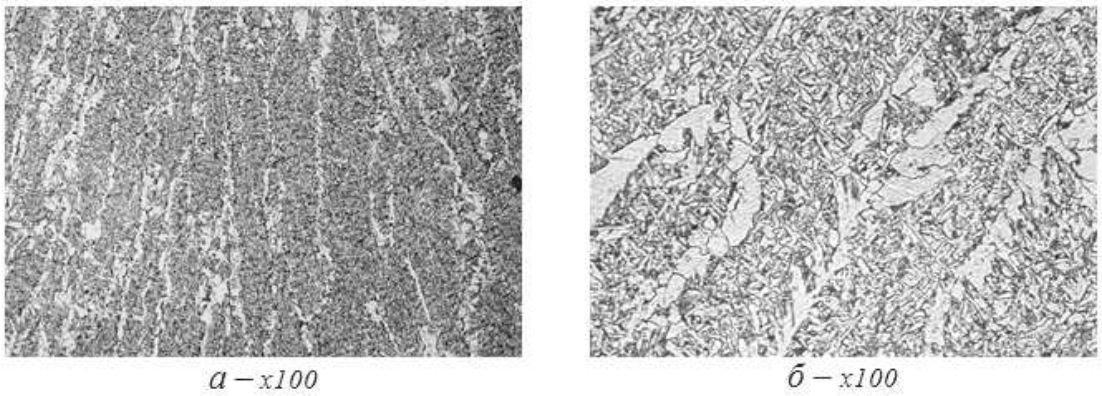


Рис. 1. Характерная микроструктура металла исследованных швов (травление в нитале): а, б – сталь 10Г2ФБ, проволока Mn-Ni-Mo-системы легирования, флюс АН-60; в, г – сталь 10Г2ФБ, проволока Mn-Ni-Mo-системы легирования, флюс АН-67Б; д, е – сталь Х80, пров. Mn-Ni-Mo + Mn-Mo-Ti-B системы легирования, флюс ОК 10.74

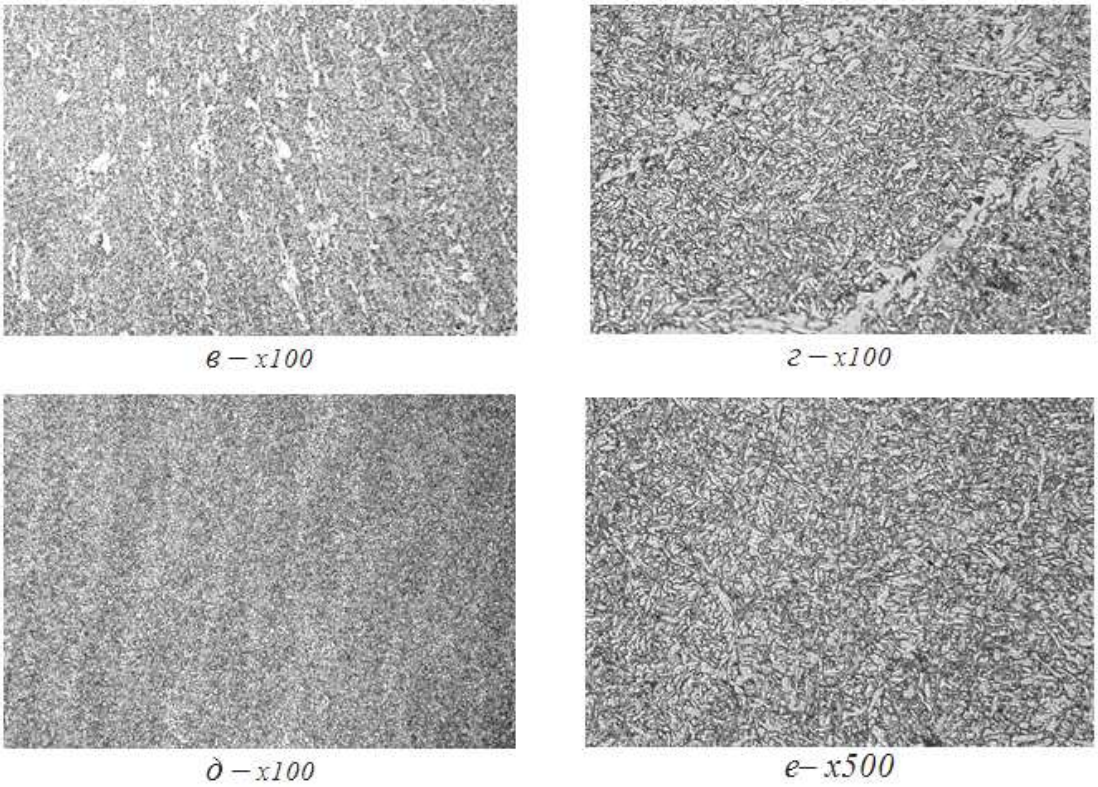


Рис. 1. Закінчення (див також с. 126)

Общее содержание в таких швах зернограничного полигонального феррита оценивается в 14...20 %. Наблюдаются также отдельные участки бокового пластинчатого феррита и внутризеренного полигонального феррита различной формы с выделениями МАК-фазы, в том числе феррита с упорядоченной МАК-фазой удлиненной формы. МАК-фаза различной формы и размеров достаточно равномерно распределена.

Однако прослеживается некоторое увеличение плотности выделений МАК-фазы, в т. ч. удлиненной формы, в виде цепочек по первичным границам и границам межзеренного полигонального феррита (рис. 2, *а*).

Для металла таких швов свойственно также относительно большое загрязнение неметаллическими включениями (объемная доля включений составляет 0,76...0,90 %). При этом максимальный вклад в объемную долю принадлежит включением размером 0,75...2,75 мкм, а размер отдельных включений достигает 10 мкм. Содержание кислорода в металле шва составляет (0,11...0,12 %), азота – (0,008...0,012 %).

Структура металла швов стали 10Г2ФБ, выполненных сварочной проволокой марки Св-08Г1НМА под алюминатным плавленым флюсом АН-67Б (Mn-Mo-Ni-система легирования + флюс нейтрального типа) на стали аналогичного микролегирования, более однородная и мелкозернистая по сравнению со швами, сваренными под флюсом АН-60 (рис. 1, *в*, *г*). В основном, структура металла таких швов представляет собой дисперсную смесь игольчатого феррита (50-55 %) с коэффициентом формы χ преимущественно 3...5 и внутризеренного полигонального феррита различной морфологии с МАК-фазой. Межзеренный полигональный феррит, содержание которого составляет 7-10 %, выделяется по вторичным границам в виде прослоек шириной 6...13 мкм или цепочек удлиненных зерен. Дисперсные образования МАК-фазы распределены равномерно (рис. 2, *б*). Объемная доля неметаллических включений в металле шва составляет (0,35...0,41 %). При этом основная масса включений имеет размер ~ 0,5...2,0 мкм. Массовая доля кислорода в металле шва находится на уровне 0,036...0,042 %, азота – 0,010... 0,011 %.

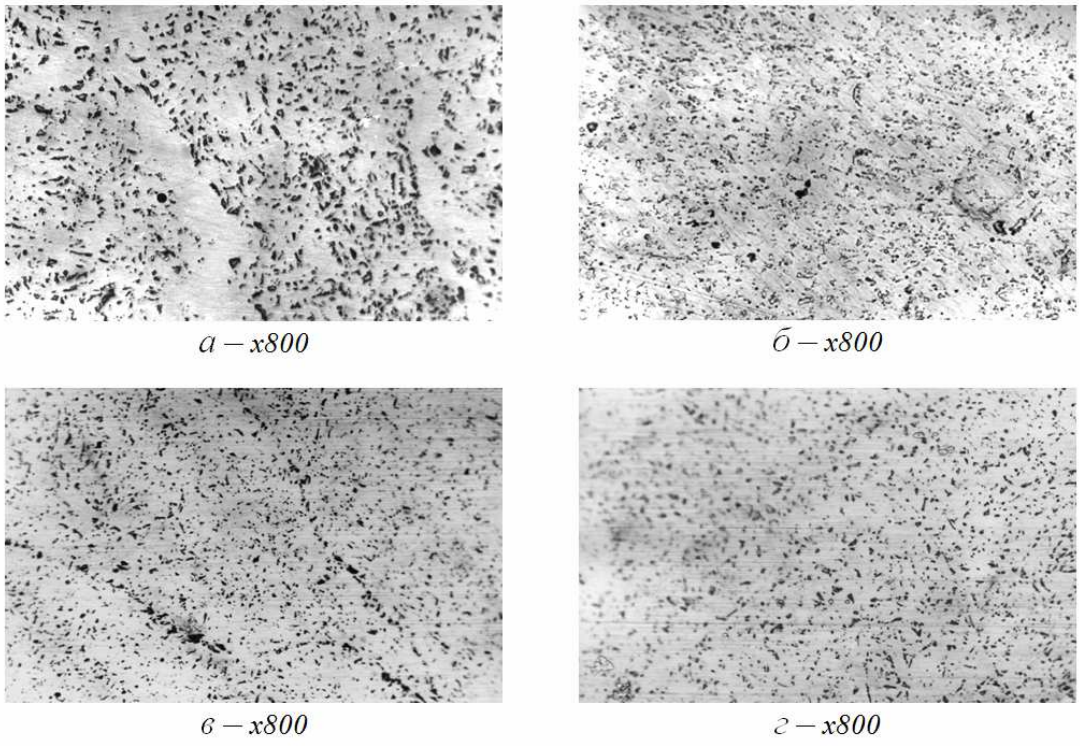


Рис. 2. Типичная микроструктура металла исследованных швов: а – сталь 10Г2ФБ, проволока Mn-Ni-Mo-, флюс АН-60; б – сталь 10Г2ФБ, проволока Mn-Ni-Mo-, флюс АН-67Б; в – сталь Х80, проволока Mn-Ni-Mo+Mn-Ti-B, флюс ОК 10.74; г – сталь Х80, проволока Mn-Ni-Mo+ Mn-Mo-Ti-B, флюс ОК 10.74; а – г – травление в пикрате натрия

В целом структура металла швов, выполненных под плавленым алюминатным флюсом АН-67Б, отличается от швов, выполненных под высококремнистым флюсом АН-60, более мелким зерном, большей долей игольчатого феррита, почти вдвое меньшим количеством мижзеренного полигонального феррита и неметаллических включений размером >1 мкм.

Структурно-фазовые характеристики металла швов на стали класса прочности Х80 аналогичного микролегирования, выполненных с применением комбинаций сварочных проволок Св-08Г1НМА + Св-08Г1МТА (Mn-Ni-Mo+ Mn-Mo-Ti-B систем легирования) и агломерированного флюса ОК10.74 (агломерированный флюс небольшой основности), еще более благоприятны с точки зрения сопротивления хрупкому разрушению (рис. 3).

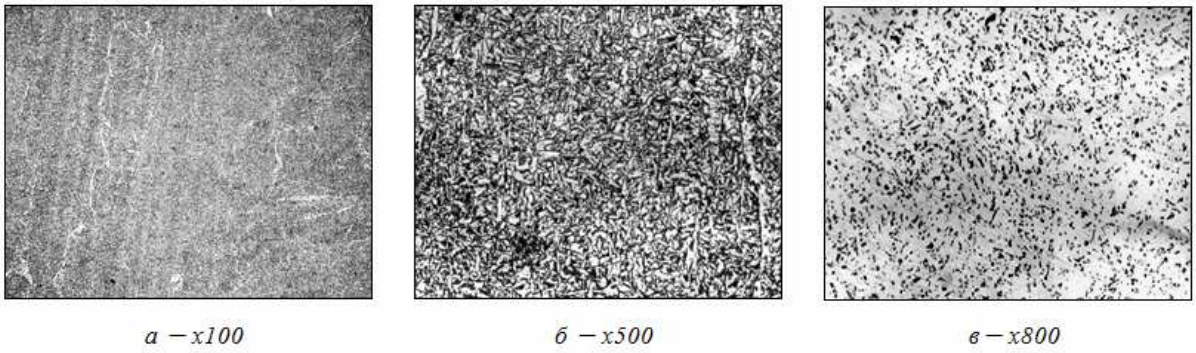


Рис. 3. Типичная микроструктура металла исследованных швов стали Х80, выполненных проволокой Mn-Mo-Ni-системы легирования под агломерованным флюсом ОК 10.74: а – травление в нитале; б – травление в нитале; в – травление в пикрате

В частности доля достаточно дисперсного игольчатого феррита (2...5 мкм) увеличивается до 60...75 %. При этом коэффициент формы зерен χ находится в пределах 3...5

(рис. 3, *б*). Межзеренный полигональный феррит, содержание которого не превышает 5 %, выделяется в виде тонких слоев шириной до 10 мкм (рис. 3, *а*).

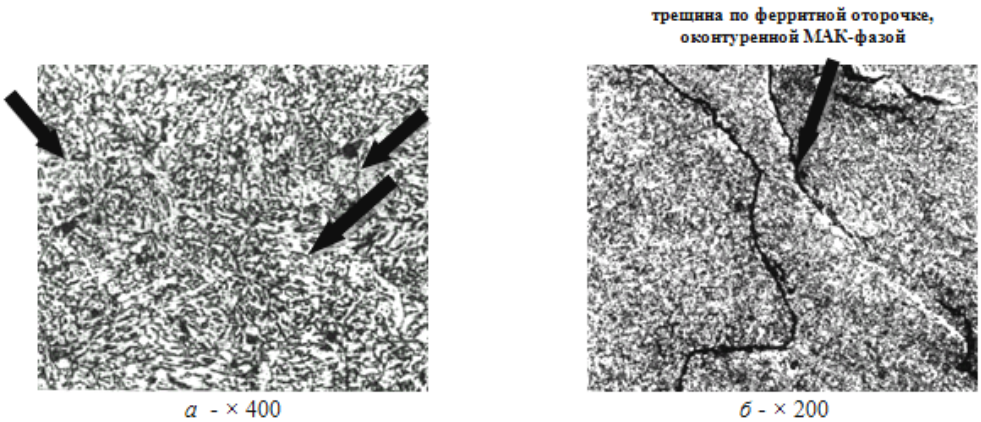
Единичные выделения массивного и внутризеренного полигонального феррита имеют размеры меньше, чем в швах, выполненных под нейтральным плавленым флюсом (АН-67Б). Дисперсные образования МАК-фазы в металле этого шва распределены довольно равномерно (рис. 3, *в*). Объемная доля неметаллических включений в металле шва составляет (0,2...0,3 %), а размер основной массы включений находится в пределах 0,5...1,5 мкм. Массовая доля кислорода в металле шва составляет 0,024...0,036 %, азота – 0,005...0,007 %.

Таким образом, основные отличия микроструктуры металла швов, выполненных проволокой Mn-Mo-Ni-системы легирования под агломерированным алюминатным флюсом небольшой основности (флюс ОК10.74), от структуры швов, выполненных аналогичной проволокой под плавленым алюминатным флюсом (флюс АН-67Б), заключаются в увеличении доли игольчатого феррита и уменьшении количества и размеров структурных составляющих, негативно влияющих на показатели вязкости таких, как внутризеренный, зернограничный и массивный полигональный феррит. Хотя в структуре металла швов такой системы легирования еще сохраняется до 5 % зернограничного доэвтектоидного феррита.

Наиболее благоприятный, с точки зрения ударной вязкости, комплекс структурно-фазовых характеристик, присущих металлу шва, выполненном на стали Х80 с пониженным содержанием углерода, вредных примесей (серы, азота) и карбидообразующих элементов, был получен с использованием проволок, содержащих Ti и B (т. е. Mn- Mo-Ti-B или Mn-Mo-Ni-Ti-B-системы легирования), в сочетании с агломерированным алюминатным флюсом небольшой основности (флюс ОК10.74).

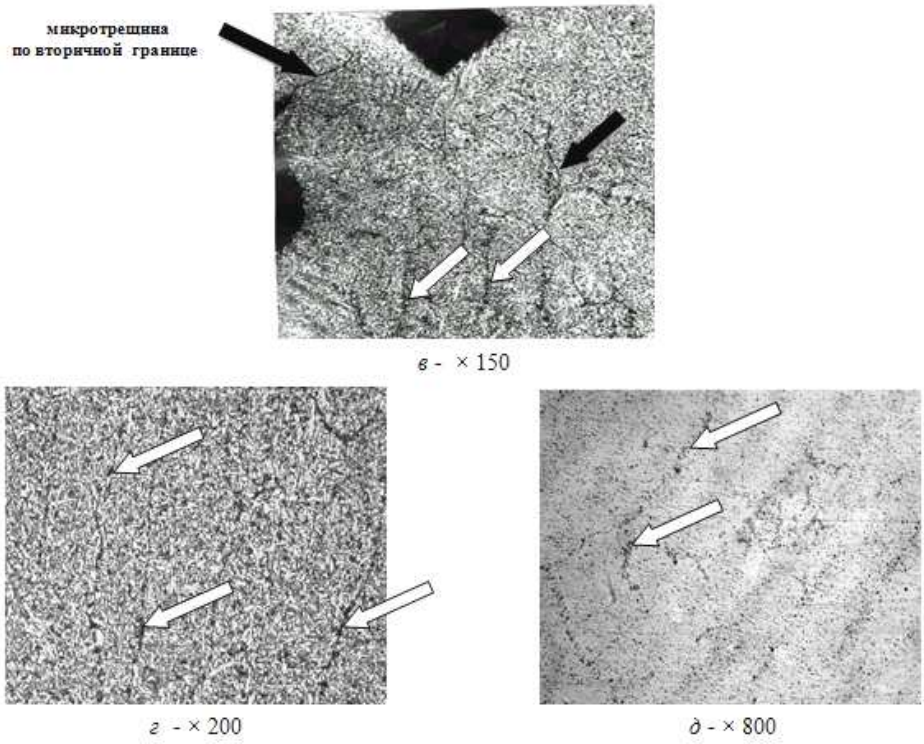
В этом случае, как правило, формируется мелкозернистая структура, достаточно однородная по сечению шва. Основной структурной составляющей металла шва является игольчатый феррит 70…80 % с коэффициентом формы χ = 2...6 (рис. 1, *е*). Доля межзеренного полигонального феррита минимальная < 3 %. Наблюдаются только единичные нитевидные прослойки и мелкие зерна полигонального феррита (рис. 1, *д*).

Вместе с тем установлено, что в металле швов такого типа с избыточным легированием, в первую очередь Mo, Ti, B, Nb, наблюдаются достаточно развитые полигонизационные границы (рис. 4), иногда обогащенные МАК-фазой, а также могут формироваться участки структуры верхнего бейнита, которому присуща пониженная пластичность и вязкость.



а - × 400 *б* - × 200

Рис. 4. Микроструктура металла швов с избыточным легированием молибденом (до 0,42 %) и ниобием (до 0,04 %). Светлыми стрелками показаны скопления МАК-фазы на полигонизационных границах и границах кристаллитов, темными – трещины: а, б, г – травление в нитале; в, д – травление в пикрате



в - × 150

г - × 200 *д* - × 800

Рис. 4. Закінчення (див. також с. 129)

Так, например, при четырехдуговой сварке микролегированной трубной стали толщиной 25-30 мм с 0,23...0,26 % Mo с применением проволоки Св-08Г1НМА (0,6 % Mo) и агломерированного флюса ОР 107 массовая доля молибдена в металле шва была на уровне 0,35...0,42 %.

Кроме того, в связи с повышенным содержанием ниобия в свариваемой стали его количество в шве достигало 0,04 %. В металле такого шва при преимущественной структуре игольчатого феррита и небольших участков полигонального феррита (не более 8 %) были выявлены единичные участки верхнего бейнита (рис. 4, *а*).

Обращает на себя внимание то, что слои доэвтектоидного феррита в металле этого шва хотя и незначительные, но обогащены выделениями МАК-фазы, которые расположенные по телу ферритных образований и часто оконтуривают их. При этом твердость металла шва составляла 250...260HV47H, что с точки зрения опасности образования холодных трещин является критическим. Высокая склонность металла шва с такими структурными особенностями к образованию трещин подтвердилась наличием в исследуемом шве макротрещин по прослойкам полигонального феррита, оконтуренных МАК-фазой (рис. 4, *б*), и сетки микротрещин, которые локализуются на полигонизационных границах (рис. 4, *в*).

Выводы. Таким образом, при проведении данных исследований был выявлен ряд проявлений структурной неоднородности металла двухсторонних швов труб, которые могут привести к снижению их вязких характеристик.

В первую очередь, к ним следует отнести участки внутреннего шва, которые подвергаются повторному нагреву в результате выполнения внешнего шва и в которых формируются локальные зоны хрупкости.

Обнаружены также дополнительные факторы, которые могут способствовать снижению показателей вязкости металла сварных соединений. Речь идет о структурной неоднородности металла шва, которая проявляется в увеличении доли межзеренного полигонального феррита в участках, непосредственно примыкающих к линии сплавления, в т. ч. в корне шва.

Установлено, что если в центральной части, указанных выше швов, сваренных, например, под флюсом АН-60 доля межзеренного полигонального феррита составляет около

15 %, то на периферии она может достигать 20...23 %. При этом в металле внутреннего шва вблизи линии проплавления наружного шва полигональный доэвтектоидный феррит образует сетку по границам бывшего аустенитного зерна, который приводит к снижению ударных свойств сварных швов трубных сталей, выполненных дуговыми методами сварки.

Список использованных источников

1. *Матросов Ю. И.* Сталь для магистральных трубопроводов / Ю. И. Матросов, Д. А. Литвиненко, С. А. Голованенко. – М. : Металлургия, 1989. – 228 с.

2. *Гаген Ю. Г.* Сварка магистральных трубопроводов / Ю. Г. Гаген, Н. А. Воробьев. – М. : Недра, 1976. – 151 с.

3. *Файнберг Л. И.* Микролегирование швов титаном и бором при многодуговой сварке газонефтепроводных труб большого диаметра / Л. И. Файнберг, А. А. Рыбаков и др. // Автоматическая сварка. – 2007. – № 5. – С. 2-25.

УДК 621.791.4

Е.В. Половецкий, мл. науч. сотруд.
Л.М. Капитанчук, науч. сотруд.
Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина

О.А. Новомлинец, канд. техн. наук
Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ПРОСЛОЙКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА АЛЮМИНИЯ АМГ6 СО СПЛАВОМ ТИТАНА ВТ6 СПОСОБОМ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ В ВАКУУМЕ

Рассмотрено влияние толщины промежуточной прослойки из АД1 на структуру и свойства, получаемых диффузионной сваркой в вакууме сварных соединений сплава алюминия АМг6 со сплавом титана ВТ6. Показано, что оптимальной является прослойка толщиной 150 мкм.

Ключевые слова: *диффузионная сварка в вакууме, сварное соединение, параметры сварки, промежуточная прослойка, микротвердость, микроструктура.*

Розглянуто вплив товщини проміжного прошарку з АД1 на структуру і властивості, одержуваних дифузійним зварюванням у вакуумі зварних з'єднань сплаву алюмінію АМг6 зі сплавом титану ВТ6. Показано, що оптимальним є прошарок товщиною 150 мкм.

Ключові слова: *дифузійне зварювання у вакуумі, зварне з'єднання, параметри зварювання, проміжний прошарок, мікротвердість, мікроструктура.*

The influence of the thickness of the intermediate layer of AD1 on the structure and the properties of diffusion welding in vacuum welded joints aluminum alloy with titanium alloy AMg6 BT6. It is shown that the optimum layer thickness of 150 microns.

Key words: *diffusion welding in vacuum, welded joints, the welding parameters, the intermediate layer, microhardness, microstructure.*

Постановка проблемы. Потребность в сварке разнородных металлов возникает при изготовлении самых разнообразных объектов во многих областях науки и техники. Одними из широко применяемых биметаллических соединений являются соединения сплавов титана со сплавами алюминия, для получения которых целесообразно использовать способ диффузионной сварки в вакууме (ДСВ). Ввиду большой разности в свойствах свариваемых металлов важную роль в получении бездефектных соединений имеет правильный выбор технологических параметров сварки, которые определяют и структурно-фазовый состав зоны соединения. Ввиду нерастворимости магния в титане невозможно получение качественного соединения без применения промежуточных прослоек из чистого алюминия [1-3]. Поэтому важной частью технологии является выбор оптимальной толщины применяемой прослойки.

Цель статьи. Главной целью этой работы является исследование влияния толщины промежуточной прослойки чистого алюминия марки АД1 на качество сварных соединений алюминия АМг6 с титаном ВТ6.

Металлографические исследования проводили на шлифах, изготовленных из исследуемых сварных соединений с последующим их ионным травлением с помощью установки Fine coat ion sputter JFC-1100 фирмы JEOL (Япония) на специально подобранных и отработанных для исследуемых биметаллических пар режимах. Последующие исследования микроструктуры и распределения химических элементов протравленных шлифов сварных соединений проводили с помощью ОЖЕ-микрозонда JAMP 9500F фирмы JEOL (Япония), оборудованном энергодисперсионным рентгеновским спектрометром системы ИНКА компании Oxford Instruments (Великобритания). Изменение микротвердости изучали на микротвердомере модели М400 фирмы LECO (США).

В процессе сварки исследуемые сплавы подвергались определенному термодеформационному воздействию, вследствие чего в них происходили рекристаллизационные и диффузионные процессы, оказывающие влияние на структуру и свойства металла зоны сварного соединения и основного металла [4-6]. Сварные соединения АМг6 + АД1 + ВТ6 получены при постоянных значениях давления (20 МПа), температуры (540 °С) и времени (20 мин.). Толщины исследуемых прослоек были следующими: 100, 150 и 200 мкм.

При толщине прослойки 100 мкм удельная деформация прослойки составляет 45-47 %. На снимках микроструктуры четко видна зона соединения (рис. 1, *а*, *г*) с участками скопившихся на ней мелких включений. Качество соединения сплава титана ВТ6 с прослойкой из АД1 носит удовлетворительный характер (рис. 1, *а*, *ж*). В зоне соединения АД1-ВТ6 четко видны области, в которых не произошел процесс схватывания, их общая доля составляет более 30 % от общей площади соединения.

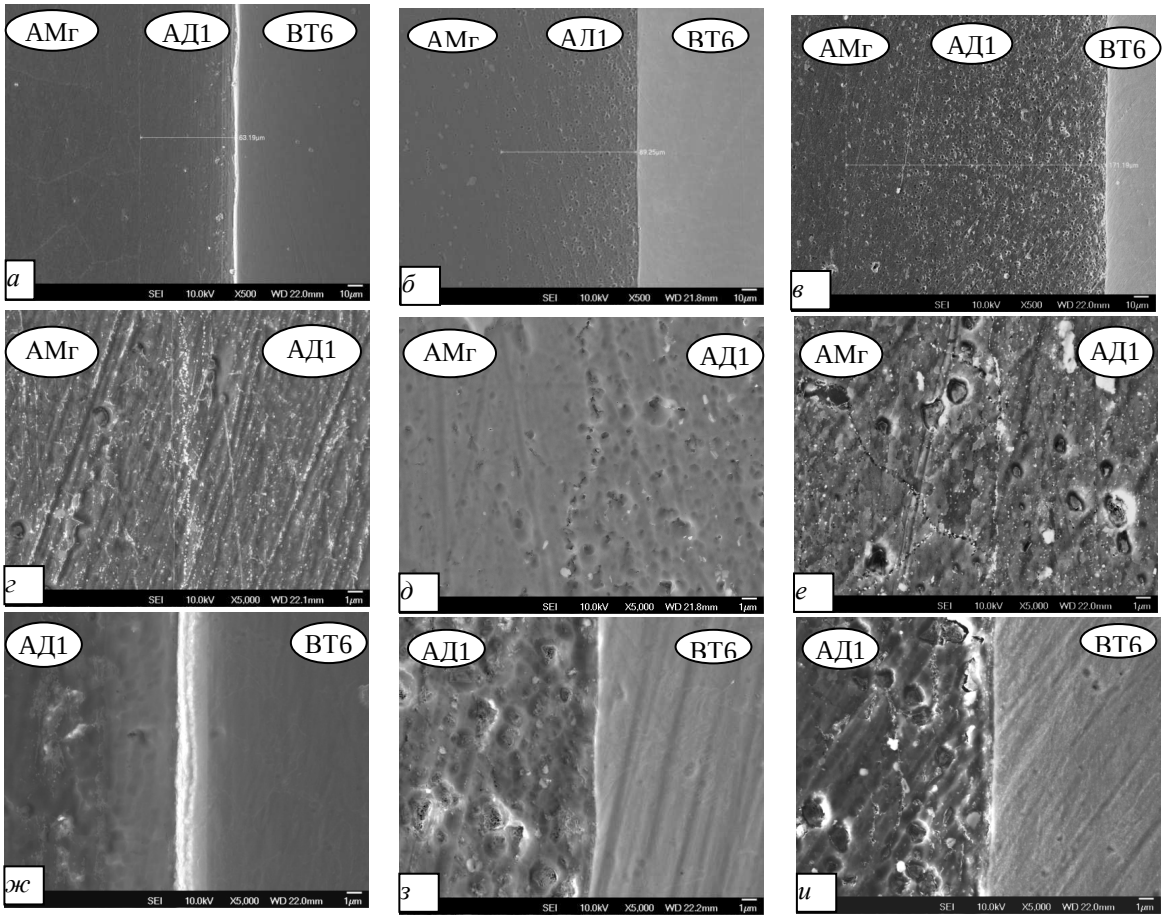


Рис. 1. Микроструктура сварного соединения АМг6+АД1+ВТ6, полученного с помощью диффузионной сварки в свободном состоянии при толщине прослойки АД1: а, г, ж – 100 мкм; б, д, з – 150 мкм; в, е, и– 200 мкм; а, б, в – общий вид соединения (×500); г, д, е – зона соединения АМг6-АД1 (×5000); ж, з, и – зона соединения АД1-ВТ6 (×5000)

Распределение микротвердости у границы соединения АМг6-АД1-ВТ6 имеет следующие значения (рис. 2): для сплава титана ВТ6 3500…3700 МПа, для сплава алюминия АМг6 600…700 МПа. Микротвердость прослойки из сплава алюминия АД1 650…700 МПа.

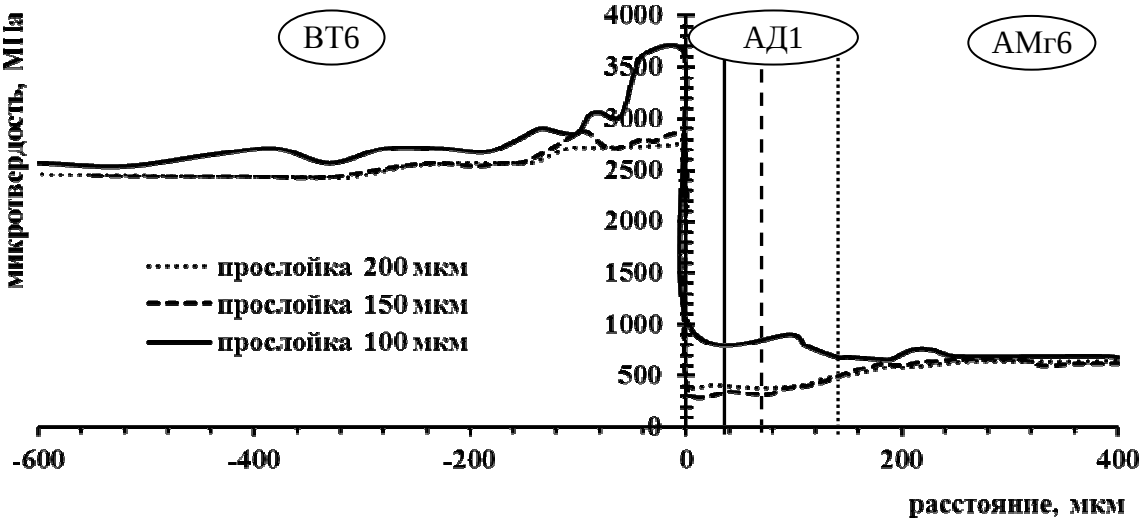


Рис. 2. Сравнение изменения значений микротвердости в сварных соединениях ВТ6+АД1+АМг6, полученных с помощью диффузионной сварки в свободном состоянии

Измерения микротвердости показали, что она повышается для сплава алюминия АМг6 у границы соединения с прослойкой из АД1 на 10 %, для сплава титана ВТ6 у границы соединения с прослойкой из АД1 на 30…35 % по сравнению с основным металлом (рис. 2). Изменения значений микротвердости вглубь от зоны соединения с прослойкой из АД1 для сплава титана ВТ6 составляет ~ 160…200 мкм и ~ 50…60 мкм для сплава алюминия АМг6.

Исследования неоднородности химического состава по нормали к зоне сварного соединения показали следующее. Во время протекания сварочного процесса происходит перераспределение основного легирующего элемента сплава алюминия АМг6 – магния. Магний диффундирует на всю остаточную после процесса сварки толщину прослойки из АД1 к зоне ее соединения со сплавом титана ВТ6. Концентрация магния в прослойке носит равномерный характер и составляет более 1 % (рис. 3). В сплаве алюминия АМг6 у границы соединения АМг6-АД1 образуется зона с пониженным содержанием магния глубиной до 150-200 мкм. В области соединения АД1-ВТ6 фиксируется повышенное содержание кислорода, что говорит о присутствии остатков оксидных пленок.

В зоне соединения прослойки со сплавом титана видна переходная зона шириной 3-4 мкм с химическим составом, который отличается как от состава прослойки, так и от состава сплава титана. Более детальные исследования показали, что она имеет в своем составе магний, ванадий, а также повышенное содержание кислорода. Зона соединения насыщена остатками оксидной пленки прослойки АД1. Область соединения сплава титана ВТ6 с прослойкой также насыщена кислородом на глубину до 2 мкм.

При толщине прослойки 150 мкм удельная деформация прослойки составляет 30…33 %. На снимках микроструктуры (рис. 1, *б*, *д*, *з*) видно, что получено качественное сварное соединение в зоне соединения прослойки АД1 как со сплавом алюминия АМг6, так и со сплавом титана ВТ6. Зона соединения АМг6-АД1 сравнима с границей зерна сплава алюминия АМг6. В зоне соединения прослойки со сплавом титана при больших увеличениях на растровом электронном микроскопе видны мелкие зоны, в которых не произошло схватывание, но их общая доля составляет не более 5 % от площади соединения.

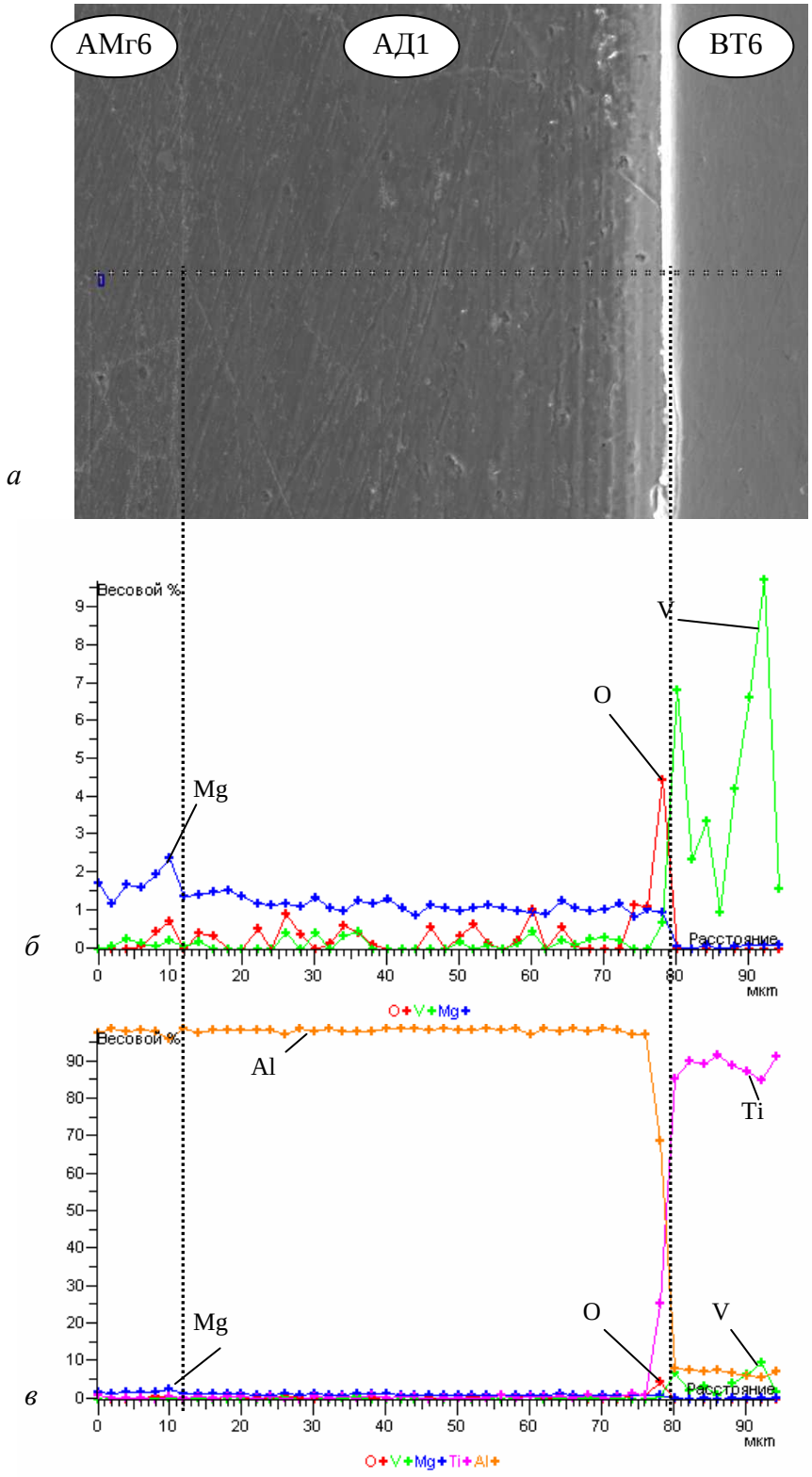


Рис. 3. Распределение концентрации примесей (б) и легирующих элементов (в) по нормали к зоне сварного соединения АМг6+АД1+ВТ6, полученного через прослойку толщиной 100 мкм и микроструктура области анализа (а)

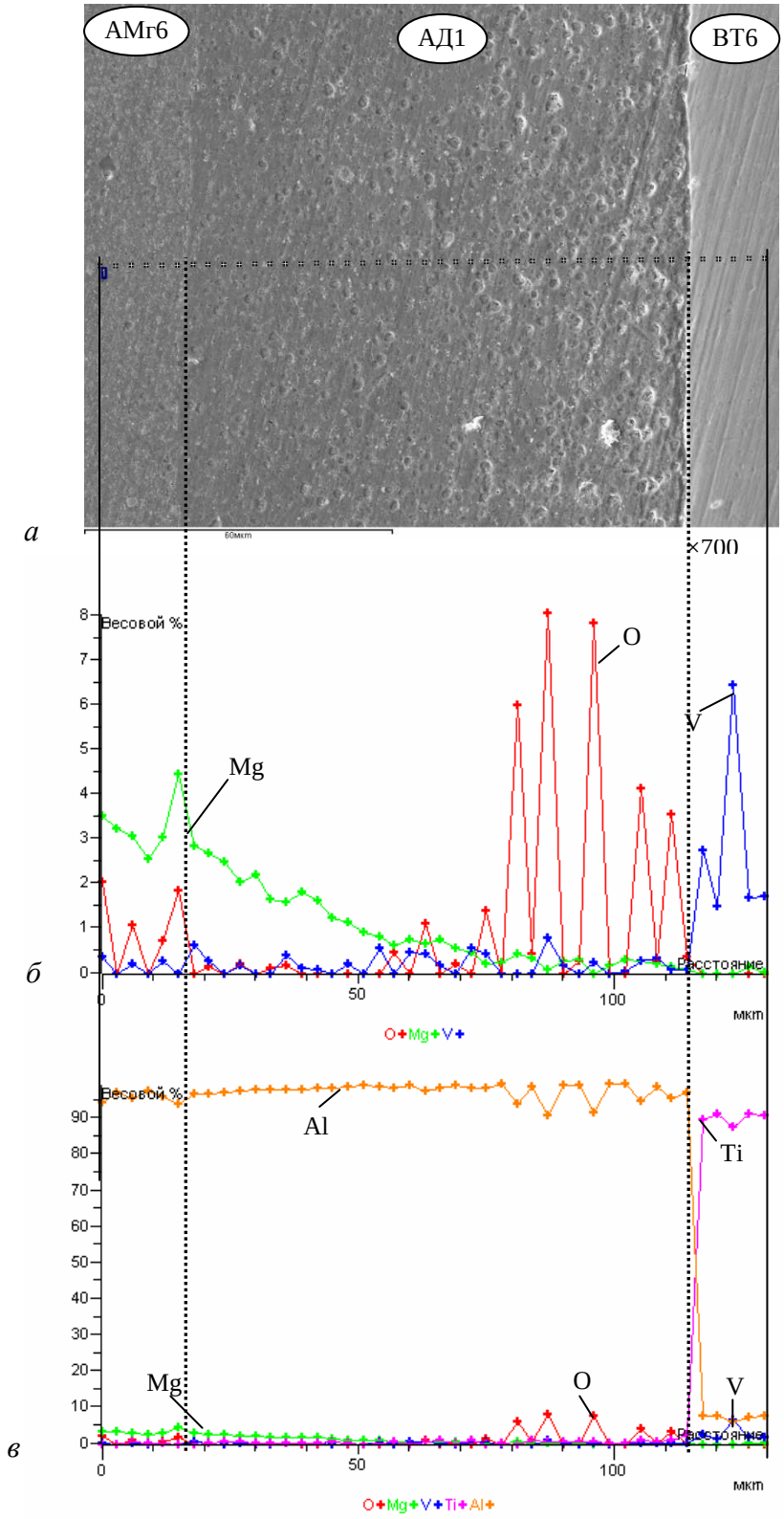


Рис. 4. Распределение концентрации примесей (б) и легирующих элементов (в) по нормали к зоне сварного соединения АМг6+АД1+ВТ6, полученного через прослойку толщиной 150 мкм и микроструктура области анализа (а)

Микротвердость у границы соединения ВТ6-АД1-АМг6 имеет следующие значения: для сплава титана ВТ6 2780…2800 МПа, для сплава алюминия АМг6 410…420 МПа. Из-

мерения микротвердости показали, что для сплава алюминия АМг6 у границы контакта с прослойкой она ниже на 25…30 %, а для сплава титана ВТ6 у границы контакта с прослойкой она выше на 10…13 % по сравнению с основным металлом (рис. 2). Глубина изменения значения микротвердости вглубь от поверхности соединения с прослойкой для ВТ6 составляет ~ 125…220 мкм и ~ 60…80 мкм для АМг6. Микротвердость прослойки из сплава алюминия АД1 310…350 МПа и повышается в сторону соединения со сплавом алюминия АМг6.

Исследования неоднородности химического состава по нормали к зоне сварного соединения с помощью энергодисперсионного рентгеновского спектрометра показали следующее. Как и в предыдущем случае во время протекания сварочного процесса происходит перераспределение легирующих элементов сплава алюминия АМг6. Магний диффундирует из АМг6 в прослойку АД1 на глубину 60…70 мкм, тем самым легируя ее, а в сплаве алюминия АМг6 у границы соединения с прослойкой образуется зона с пониженным содержанием магния глубиной до 200 мкм.

В прослойке наблюдаются включения с повышенным содержанием кислорода, их количество растет по мере приближения к зоне соединения прослойки со сплавом титана. На границе соединения прослойки со сплавом титана наблюдается зона диффузионного взаимодействия размером 1,2-1,6 мкм (рис. 4). Дефекты и включения различного рода не наблюдаются.

При толщине прослойки 200 мкм ее удельная деформация составляет 15-20 %. На снимках микроструктуры (рис. 1, *в*, *е*, *и*) в зоне соединения прослойки со сплавом алюминия видны отдельные участки мелких (менее 0,1 мкм) включений, а ее внешний вид подобен границе зерна (рис. 1, *в*, *е*). В зоне соединения прослойки со сплавом титана включений и фазовых выделений не наблюдается. Доля областей несхватывания составляет не более 3-5 % от общей площади зоны соединения. У границы соединения АМг6-АД1 в сплаве алюминия на глубине до 400 мкм наблюдается изменение размеров и формы зерна, оно увеличивается и становится более глобулярной формы. В сплаве титана особых изменений не наблюдается.

Распределение микротвердости у границы соединения АМг6-АД1-ВТ6 имеет следующие значения (рис. 2): для сплава титана ВТ6 2650…2700 МПа, для сплава алюминия АМг6 550…600 МПа. Микротвердость прослойки из алюминия АД1 составляет 300…320 МПа и повышается в сторону соединения со сплавом алюминия АМг6 до 450…500 МПа. Измерения микротвердости показали, что для сплава алюминия АМг6 у границы соединения с прослойкой из АД1 она снижается на 17 %, а для сплава титана ВТ6 у границы соединения с прослойкой из АД1 она повышается на 5…8 % по сравнению с основным металлом (рис. 2).

Глубина изменения значений микротвердости вглубь от поверхности соединения с прослойкой для ВТ6 составляет ~ 130…140 мкм и ~ 80…100 мкм для АМг6.

На рис. 5 представлены результаты исследования неоднородности химического состава по нормали к зоне сварного соединения АМг6-АД1-ВТ6. Данные исследований показали следующее. Во время протекания сварочного процесса происходит перераспределение магния как основного легирующего элемента сплава алюминия АМг6 (рис. 5). Магний диффундирует в прослойку на глубину 100-120 мкм, что составляет 60-70 % от толщины прослойки, оставшейся после процесса сварки, а в сплаве алюминия АМг6 у границы соединения образуется зона шириной 100…150 мкм с пониженным его содержанием.

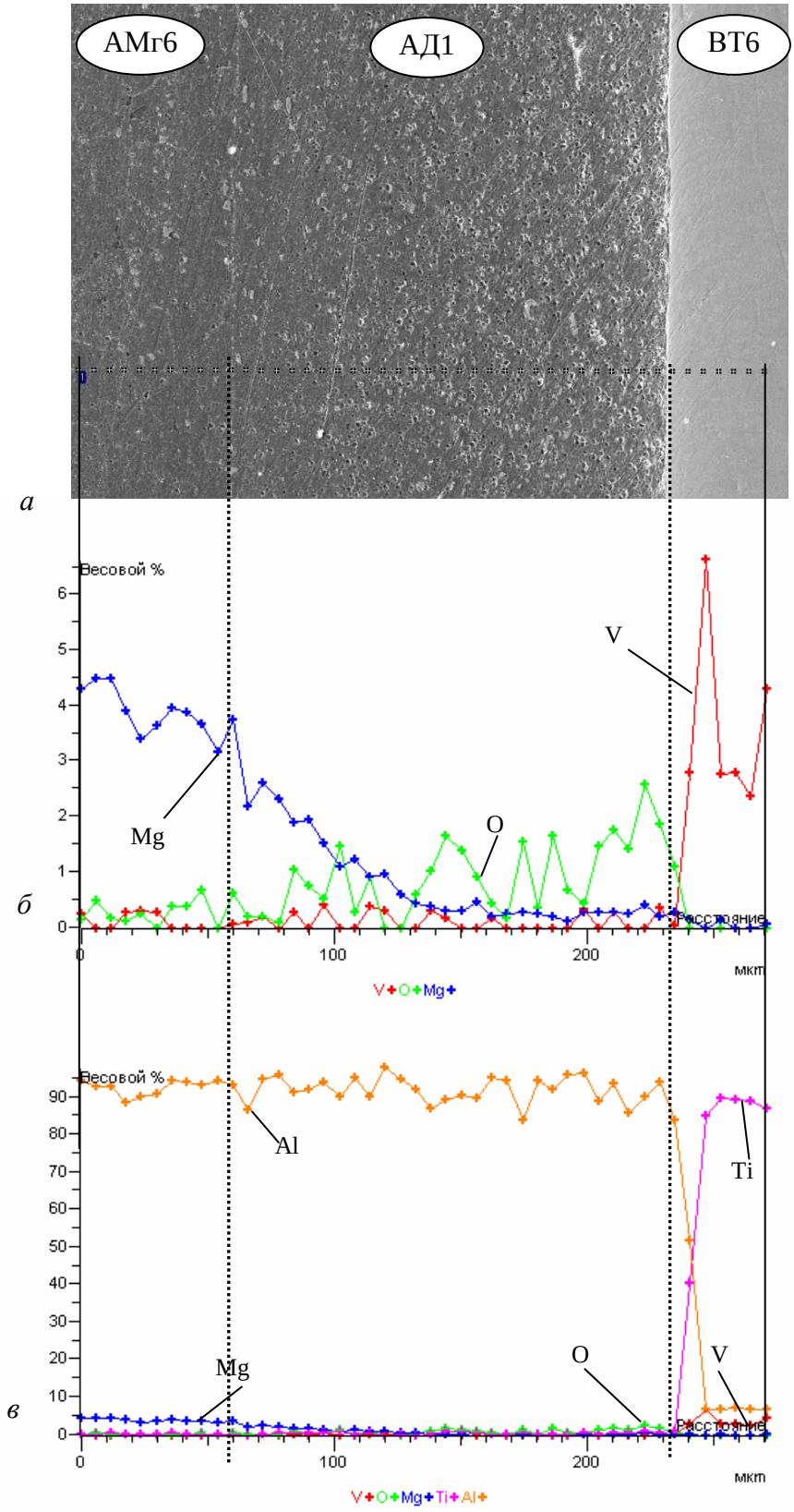


Рис. 5. Распределение концентрации примесей (б) и легирующих элементов (в) по нормали к зоне сварного соединения АМг6+АД1+ВТ6, полученного через прослойку толщиной 200 мкм и микроструктура области анализа (а)

На границе соединения прослойки из АД1 со сплавом титана ВТ6 наблюдается зона диффузионного взаимодействия размером ~1,2-1,6 мкм, характерной особенностью которой есть диффузия титана и ванадия в АД1 на глубину 0,5 мкм. Интерметаллиды и другие включения не наблюдаются.

Выводы. Во всех случаях в прослойке наблюдается повышенное содержание оксидных включений, со стороны сплава титана ВТ6 их количество увеличивается. Как в сплаве алюминия АМг6, так и в прослойке из АД1 после процесса сварки наблюдаются включения экзогенного типа сложного химического состава. Их происхождение и наличие связано с процессом производства металла (остатки футеровки). Наблюдается изменение в размере и форме зерна в сплаве АМг6 у границы соединения АМг6-АД1, на глубину 400 мкм увеличивается его размер, а форма принимает более глобулярный вид. В сплаве ВТ6 и у границы соединения АД1-ВТ6 изменений в структуре не наблюдается, поскольку температура сварки мала для начала изменений структуры в ВТ6.

Изменение значений микротвердости у границы соединения сплава алюминия АМг6 с прослойкой из АД1 как со стороны сплава алюминия, так и со стороны прослойки имеет схожий характер при применении прослойки толщиной 150 и 200 мкм, т. е. прямо зависит от перераспределения магния как основного легирующего элемента сплава АМг6, который влияет на его механические свойства. В сплаве АМг6 в зоне с пониженным содержанием магния микротвердость снижается, а в прослойке из АД1, в зоне насыщенной магнием, она возрастает (рис. 2).

При толщине прослойки 100 мкм нет достаточного пластического течения материала во время процесса сварки в зоне соединения ВТ6-АД1, что приводит к повышению микротвердости в этой зоне и самой прослойки на 30…40 % вследствие приконтактного упрочнения материала, а также большому количеству остаточных оксидов. Остаточной после процесса сварки толщины применяемой прослойки не достаточно для полного перераспределения магния из АМг6, что влечет за собой образование областей, в которых не происходит процесс схватывания.

При ДСВ сплава титана ВТ6 со сплавом алюминия АМг6 во избежание негативного влияния магния необходимо применять прослойки из АД1 с толщиной 150 мкм.

Список использованных источников

1. *Рабкин Д. М.* Сварка разнородных металлов / Д. М. Рабкин, В. Р. Рябов, С. М. Гуревич. – К. : Техника, 1976. – 208 с.

2. *Лариков Л. Н.* Диффузионные процессы в твердой фазе при сварке / Л. Н. Лариков, В. Р. Рябов, В. М. Фальченко. – М. : Машиностроение, 1975. – 192 с.

3. *Диффузионная* сварка жаропрочных сплавов / Р. А. Мусин, В. Н. Анциферов, В. Ф. Квасницкий [и др.]. – М. : Металлургия, 1979. – 207 с.

4. *Цвиккер У.* Титан и его сплавы / У. Цвиккер. – М. : Металлургия, 1979. – 511 с.

5. *Мондольфо Л. Ф.* Структура и свойства алюминиевых сплавов : пер. с англ. / Л. Ф. Мондольфо. – М. : Металлургия, 1979. – 640 с.

6. *Хэтч Дж. Е.* Алюминий: свойства и физическое металловедение : справочник / Дж. Е. Хэтч ; под ред. И. Н. Фридляндера. – М. : Металлургия, 1989. – 426 с.

РОЗДІЛ V. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.397 446-027.45

И.И. Васильева, канд. техн. наук
Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, г. Донецк, Украина

НАДЕЖНОСТЬ ТЕЛЕВИЗОРОВ И ЕЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Показаны результаты исследования надежности кинескопных, жидкокристаллических и плазменных телевизоров. Установлено, что наиболее адекватной моделью распределения отказов телевизоров разных типов и марок является закон Вейбулла, который позволяет определять надежность телевизоров (вероятность безотказной работы и наработки до отказа). Приведены прогнозные данные этих показателей надежности, рассчитанные для разных типов телевизоров.

***Ключевые слова**: кинескопный, жидкокристаллический и плазменный телевизоры, надежность, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, наработка до отказа.*

Показано результати дослідження надійності кінескопних, рідкокристалічних і плазмових телевізорів. Встановлено, що найбільш адекватною моделлю розподілу відмов телевізорів різних типів і марок є закон Вейбулла, що дозволяє визначати надійність телевізорів (ймовірність безвідмовної роботи та напрацювання до відмови). Наведені прогнозні дані цих показників надійності, розраховані для різних типів телевізорів.

***Ключові слова**: кінескопний, рідкокристалічний і плазмовий телевізори, надійність, інтенсивність відмов, ймовірність безвідмовної роботи, напрацювання до відмови.*

The research results of CRT, LCD and plasma TV sets safety are brought in the article. The most adequate model of failure distribution in TV sets of different types and brand names is set as the law of Weibull. It enables determination of TV sets safety (probability of no-failure operation and time before failure). The forecasting data of these safety indices calculated for different TV sets types are given.

***Key words:** CRT, LCD and plasma TV sets, safety, failure rate, probability of no-failure operation, time before failure.*

Постановка проблемы. В интересах потребителей, чтобы продукция, предлагаемая на рынке, имела высокие показатели качества в течение всего срока хранения и эксплуатации. Между качеством и надежностью существует тесная взаимосвязь. Чем больше надежность технического устройства, тем выше его качество.

Анализ последних исследований и публикаций. Однако высокие показатели качества не означают еще, что данная продукция будет обладать хорошей надежностью и сохранять эти показатели в течение заданного времени [1-10].

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Телевизоры, находясь на стадиях обращения и эксплуатации, подвергаются ремонту. Причем этот ремонт может быть предторговым, гарантийным и послегарантийным. Предторговому ремонту, как показывают исследования, подвергается относительно небольшое количество телевизоров – всего 2 %, хотя в отдельных случаях эта цифра может достигать и 20 %. При этом надо иметь в виду, что в предпродажный период ремонтируются телевизоры с мелкими и незначительными дефектами, вызванными главным образом механическими нагрузками при погрузочно-разгрузочных работах. В период гарантийного срока службы (12-36 месяцев со дня продажи) количество телевизоров, подвергнутых ремонту, удваивается и составляет около 5 %, однако колеблется для разных моделей в достаточно широких пределах от 2,64 до 18 %.

Необходимо отметить, что как распределение отказов, так и физическая природа их возникновения носят в какой-то мере индивидуальный характер и определяются конкретными условиями производства телевизоров. Это обстоятельство еще раз подчеркивает, что изучение физической природы отказов, установление общих закономерностей их распределения превращается в сложную научную и инженерно-техническую проблему, для разрешения которой необходим постоянный и всесторонний анализ уровня качества как изделий в целом, так и их составных элементов.

Цель статьи. Главной целью этой работы является оценка надежности кинескопных, жидкокристаллических и плазменных телевизоров.

Изложение основного материала. Для количественного анализа процесса функционирования и оценки надежности телевизоров необходимо построить математическую модель. Модель получают в результате формализации процесса эксплуатации и его параметров. Выбор характеристик процесса обусловлен необходимой степенью приближения модели к действительности.

Путь исследований отдельных свойств надежности телевизоров с помощью математических моделей представляется единственно возможным и наиболее эффективным. Это в первую очередь относится к исследованиям, целью которых является определение количественных соотношений между различными характеристиками и параметрами изучаемых явлений.

Для выбора показателей надежности изделий необходимо рассмотреть модель функционирования данного изделия. При этом под моделью понимается абстракция реального явления, сохраняющая существенные особенности функционирования таким образом, чтобы ее анализ предоставлял возможность проникнуть в сущность исследуемого процесса.

Было поставлено задание – прогнозировать надежность телевизоров с целью повышения их качества в целом. На наш взгляд, одним из возможных путей решения поставленной задачи является прогнозирование отказов телевизоров в период эксплуатации. Для этого необходимо найти закон распределения отказов во времени, который описывал бы данную ситуацию.

В табл. 1 представлены показатели надежности кинескопных телевизоров, а на рис. 1-3 – кривые распределения отказов в процессе их эксплуатации.

Таблица 1

Показатели надежности кинескопных телевизоров "Электрон 54 ТК 707"

Количество телевизоров (n), находившихся в эксплуатации за время Δt		Количество отказов за время, Δt	Количество отказов в единицу времени, λ(t)	Вероятность безотказной работы, P(t)	Интенсивность отказов, $\lambda_1(t)$
Δt	n				
0-50	418	40	0,200	0,90431	5,291E-04
51-100	378	57	0,285	0,84921	8,879E-04
101-150	321	48	0,240	0,85047	8,791E-04
151-200	273	45	0,225	0,83516	9,868E-04
201-250	228	51	0,255	0,77632	1,441E-03
251-300	177	52	0,260	0,70621	2,080E-03
301-350	125	60	0,300	0,52000	4,615E-03
351-400	65	65	0,325	0,00000	–

Примечание: Δ*t* – приведено в днях, исходя из того, что телевизоры работают в среднем в сутки 4 ч, интервал времени $t_i - t_{i+1}$ (Δ*t*) равен 200 ч; $\lambda(t)$ и $\lambda_1(t)$ пересчитывали на единицу времени – час.

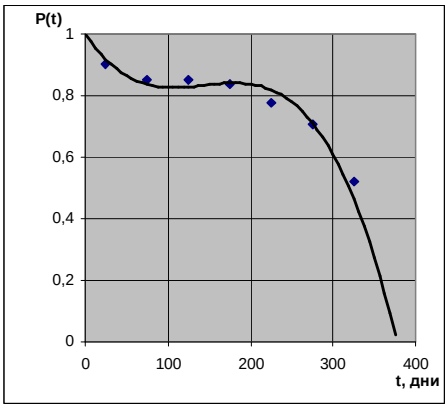


Рис. 1. Кривая вероятности безотказной работы кинескопных телевизоров "Электрон 54 ТК 707" во времени

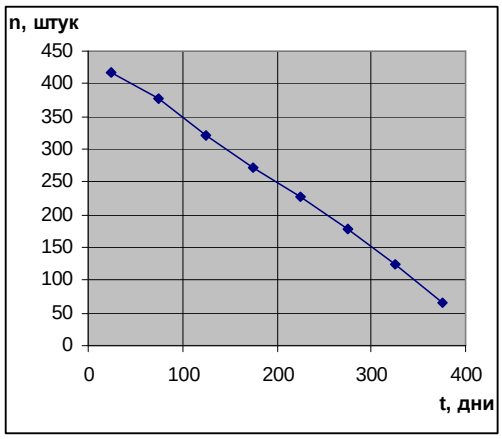


Рис. 2. Количественное распределение работоспособных кинескопных телевизоров "Электрон 54 ТК 707" n в процессе эксплуатации

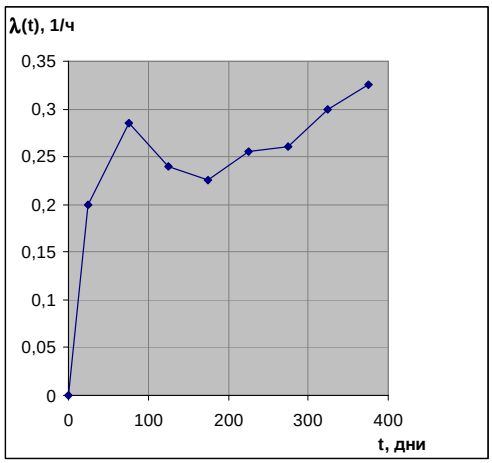


Рис. 3. Изменение количества отказов в единицу времени кинескопных телевизоров "Электрон 54 ТК 707" в процессе эксплуатации

Анализ кривых распределения отказов для кинескопных телевизоров показывает, что весь процесс их эксплуатации можно разделить на три периода: начальный период, или период приработки, период нормальных случайных отказов и период старения. В начальный период эксплуатации происходит приработка деталей схемы, проявляются скрытые дефекты монтажа, отдельных блоков и узлов.

Причиной приработочных отказов телевизора наряду с наличием дефектных элементов могут быть и ошибки, допущенные при сборке и монтаже – некачественная пайка, ненадежность контактов, ошибки монтажа и др. Эти виды отказов не связаны с эксплуатацией изделия потребителем. К числу основных отказов в начальный период эксплуатации телевизоров следует отнести отказы интегральных схем и транзисторов, доля которых в общем их количестве превышает 50 %.

Таким образом, в процессе приработки каждый дефектный элемент телевизора постепенно заменяется нормальным и их число будет неуклонно уменьшаться. Следовательно при постоянной интенсивности приработочных отказов общая интенсивность отказов телевизоров в период приработки будет уменьшаться до тех пор, пока не будет заменен последний дефектный элемент.

Периоды приработки для разных марок и моделей телевизоров неодинаковы и находятся в пределах от 100-800 ч. Для кинескопных телевизоров период приработки составляет обычно 100 дней или 400 ч. Это означает, что кривая распределения отказов в начальный период идет вверх, т. е. интенсивность отказов достаточно высокая. Чем ме-

ньше этот период, тем быстрее проявляются скрытые дефекты телевизора, тем легче их устранить и тем самым удлинить второй период эксплуатации. Этот период значительно дольше первого и третьего периодов. Для исследуемых кинескопных телевизоров он составляет около 300 дней эксплуатации. Эта часть кривой определяет качество разработки и проектный срок службы телевизора. Чем больше этот период во время эксплуатации, тем выше качество схемотехнического решения телевизора. Чем ближе кривая интенсивности отказов к оси абсцисс, тем выше надежность телевизора. Этот период представляет собой по существу экономический срок службы изделия. Задание состоит в том, чтобы этот период продлить настолько, насколько это возможно. Продление этого периода эксплуатации возможно за счет качественного ремонта и технического обслуживания телевизоров.

В период нормальных случайных отказов телевизоров еще большее значение, чем в период его приработки, имеет предварительная отбраковка и прогон ИЭТ, используемых для замены отказавших. Действительно, если взамен отказавших элементов при ремонте телевизора будут использоваться дефектные, то его надежность в этот период будет определяться, в первую очередь, именно ними. Поэтому качество ремонта телевизоров в период нормальной эксплуатации играет немаловажную роль.

Основной путь повышения вероятности безотказной работы телевизоров в период нормальных случайных отказов – это всемерное повышение наработки на отказ всех используемых в них элементов. Это зависит от многих факторов – конструкции изделия, технологии его изготовления, соблюдения правил эксплуатации и др.

Третий период – это период старения, износа и усталости комплектующих изделий и деталей телевизоров. Он характеризуется резким повышением интенсивности отказов. Отказы этого периода зависят от долговечности элементов, входящих в состав телевизора, и часто вызываются механическими и химическими воздействиями. Профилактическая замена элементов до наступления их износовых отказов, а также выполненный на должном уровне ремонт способны продлить срок службы телевизора до тех пор, пока издержки не станут решающим фактором. Отношение числа отказов из-за дефектных комплектующих изделий и деталей к числу отказов из-за некачественного монтажа в цветных телевизорах составляет 80:20 в процентном отношении (мнение специалистов и ведущих технологов сервисных центров).

В табл. 2 и на рис. 4-6 представлены данные надежности жидкокристаллических телевизоров.

Таблица 2

Показатели надежности жидкокристаллических телевизоров Samsung LE-32D403E2

Количество телевизоров (n), находившихся в эксплуатации за время Δt		Количество отказов за время, Δt	Количество отказов в единицу времени, λ(t)	Вероятность безотказной работы, P(t)	Интенсивность отказов, $\lambda_1(t)$
Δt	n				
0-50	312	50	0,250	0,87500	9,542E-04
51-100	262	39	0,195	0,81319	8,744E-04
101-150	223	30	0,150	0,83784	7,772E-04
151-200	193	28	0,140	0,80108	8,485E-04
201-250	165	29	0,145	0,80537	1,066E-03
251-300	136	36	0,180	0,77500	1,800E-03
301-350	100	45	0,225	0,69892	4,091E-03
351-400	55	55	0,275	0,00000	–

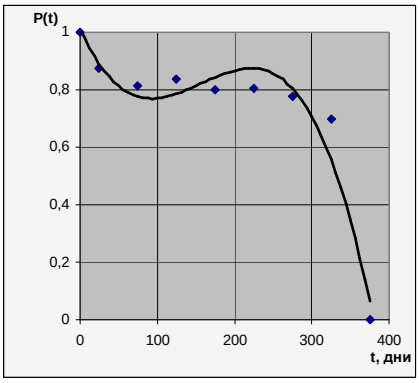


Рис. 4. Кривая вероятности безотказной работы жидкокристаллических телевизоров Samsung LE-32D403E2 во времени

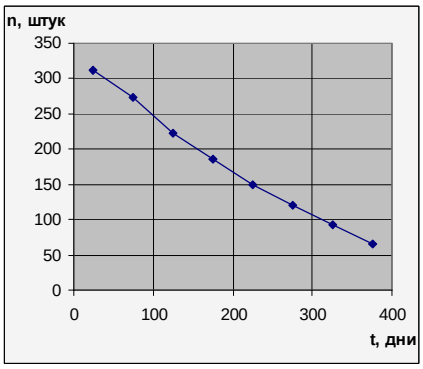


Рис. 5. Количественное распределение работоспособных жидкокристаллических телевизоров Samsung LE-32D403E2n в процессе эксплуатации

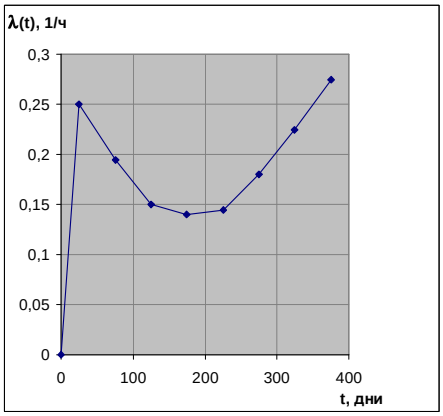


Рис. 6. Изменение количества отказов в единицу времени жидкокристаллических телевизоров Samsung LE-32D403E2 в процессе эксплуатации

В табл. 3 и на рис. 7-9 представлены данные надежности плазменных телевизоров.

Таблица 3

Показатели надежности плазменных телевизоров Panasonic TX PR 42U30

Количество телевизоров (n), находившихся в эксплуатации за время Δt		Количество отказов за время, Δt	Количество отказов в единицу времени, λ(t)	Вероятность безотказной работы, P(t)	Интенсивность отказов, $\lambda_1(t)$
Δt	n				
1	2	3	4	5	6
0-50	185	32	0,160	0,80541	1,046E-03
51-100	153	33	0,165	0,85235	1,375E-03
101-150	120	13	0,065	0,84252	6,075E-04

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6
151-200	107	15	0,075	0,85981	8,152E-04
201-250	92	19	0,095	0,79348	1,301E-03
251-300	73	23	0,115	0,68493	2,300E-03
301-350	50	24	0,120	0,52000	4,615E-03
351-400	26	26	0,130	0,00000	–

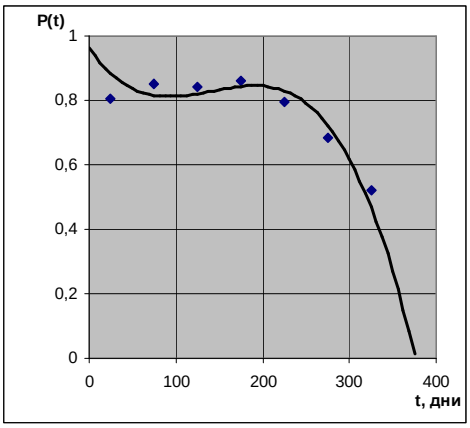


Рис. 7. Кривая вероятности безотказной работы плазменных телевизоров Panasonic TX PR 42U30 во времени

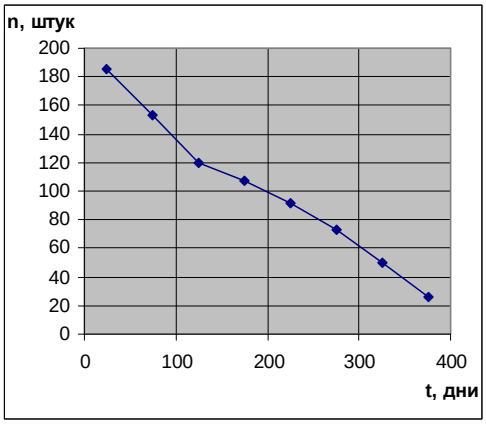


Рис. 8. Количественное распределение работоспособных плазменных телевизоров Panasonic TX PR 42U30 n в процессе эксплуатации

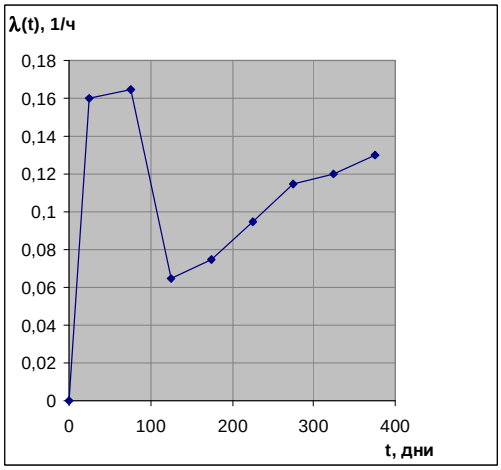


Рис. 9. Изменение количества отказов в единицу времени плазменных телевизоров Panasonic TX PR 42U30 в процессе эксплуатации

Рассмотренные три вида интенсивности отказов от времени можно получить, используя для вероятностного описания случайной наработки до отказа двухпараметрическое распределение Вейбулла. Правомерность его применения подтвердили расчеты коэффициента вариации, значение которого для всех трех типов телевизоров находилось в пределах от 0,4 до 0,6.

При распределении Вейбулла вероятность безотказной работы на промежутке (0, t) имеет вид:

$$p(t) = \exp(-\lambda t^{\alpha}),\ t \geq 0,\ \lambda > 0,\ \alpha > 0\,. \qquad (1)$$

Аналогично получим, что плотность распределения наработки на отказ равна:

$$\omega(t) = \lambda\alpha t^{\alpha-1}\exp(-\lambda t^{\alpha})\,. \qquad (2)$$

Основной причиной широкого использования закона Вейбулла является то, что он содержит дополнительный параметр α. Подбирая нужным образом параметры, мы можем получить лучшее соответствие опытным данным по сравнению с экспоненциальным законом.

Среднее время безотказной работы находится по формуле:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} e^{\lambda t^{\alpha}} dt = \lambda^{-\frac{1}{\alpha}}\Gamma\left(1+\frac{1}{\alpha}\right), \qquad (3)$$

где $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1}e^{-t}dt$ – гамма-функция.

Дисперсия времени безотказной работы для распределения Вейбулла определяется соотношением:

$$\sigma^2 = \lambda^{-2/\alpha}\left[\Gamma\left(1+\frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)\right]. \qquad (4)$$

Теперь можем определить интенсивность отказов для распределения Вейбулла:

$$\lambda(t) = \lambda\alpha t^{\alpha-1},\ t \geq 0,\ \lambda > 0,\ \alpha > 0\,. \qquad (5)$$

Таким образом, интенсивность отказов $\lambda(t)$ монотонно возрастает при $\alpha > 1$, при $\alpha = 1$ – постоянна, а при $\alpha < 1$ $\lambda(t)$ монотонно убывает.

Нами оценивались параметры распределения Вейбулла в системе STATISTICA, которая предлагает широкий набор методов для анализа надежности и прогнозирования отказов оборудования. Запускали модуль «Анализ процессов», затем выбирали «Анализ Вейбулла» на стартовой панели, далее «Группированные данные», «Распределение Вейбулла», «Вероятностный график». По умолчанию программа вычислила оценки максимального правдоподобия для двухпараметрического распределения Вейбулла. Окно результатов позволило интерактивно провести подгонку оценок параметров к данным распределения Вейбулла с различными параметрами.

В нашем случае распределение Вейбулла подбиралось весовым методом наименьших квадратов, который обеспечивает наилучшее соответствие теоретической функции распределения эмпирической в соответствии с выбранным критерием согласия.

Для дальнейшего расчета наработки до отказа вначале определялось среднее число работоспособных телевизоров за определенный интервал времени $\Delta t = t_{i+1} - t_i$:

$$Z_{t_i} = \frac{n_{t_i} + n_{t_{i+1}}}{2}\,. \qquad (6)$$

Теоретическую вероятность безотказной работы рассчитывали по формуле:

$$p_i(t) = \frac{Z_{t_i}}{n_{t_i}}. \quad (7)$$

Затем находили теоретическую наработку на отказ m (дни) по следующему соотношению:

$$m = \sum_{i=1}^{N} p_i(t) \cdot \Delta t, \quad (8)$$

где $\Delta t = 50$ дней; $N = 8$ в нашем случае.

Результаты вычислений по кинескопным, жидкокристаллическим и плазменным телевизорам приведены в табл. 4-6.

Таблица 4

Данные наработки до отказа кинескопных телевизоров "Электрон 54 ТК 707"

Период работы, дни	Вероятность безотказной работы	Вероятность появления отказов	Среднее число работоспособных телевизоров	Теоретическая вероятность безотказной работы
Δt	P(t)	Q(t)	Z(t)	$P_i(t)$
0-50	0,90431	0,09569	398,0	0,95215
51-100	0,84921	0,15079	349,5	0,92460
101-150	0,85047	0,14953	297,0	0,92523
151-200	0,83516	0,16484	250,5	0,91758
201-250	0,77632	0,22368	202,5	0,88816
251-300	0,70621	0,29379	151,0	0,85311
301-350	0,52000	0,48000	95,0	0,76000
351-400	0,00000	1,00000	32,5	0,50000
		Наработка до отказа, дни		336,04
		Наработка до отказа, ч		1344,17

Таблица 5

Данные наработки до отказа жидкокристаллических телевизоров Samsung LE-32D403E2

Период работы, дни	Вероятность безотказной работы	Вероятность появления отказов	Среднее число работоспособных телевизоров	Теоретическая вероятность безотказной работы
Δt	P(t)	Q(t)	Z(t)	$P_i(t)$
0-50	0,87500	0,12500	292,5	0,93750
51-100	0,81319	0,18681	247,5	0,90659
101-150	0,83784	0,16216	204,0	0,91892
151-200	0,80108	0,19892	167,5	0,90054
201-250	0,80537	0,19463	134,5	0,90268
251-300	0,77500	0,22500	106,5	0,88750
301-350	0,69892	0,30108	79,0	0,84946
351-400	0,00000	1,00000	32,5	0,50000
		Наработка до отказа, дни		340,16
		Наработка до отказа, ч		1360,64

Таблица 6

Данные наработки до отказа плазменных телевизоров Panasonic TX PR 42U30

Период работы, дни	Вероятность безотказной работы	Вероятность появления отказов	Среднее число работоспособных телевизоров	Теоретическая вероятность безотказной работы
Δt	P(t)	Q(t)	Z(t)	$P_i(t)$
1	2	3	4	5
0-50	0,80541	0,19459	167,0	0,90270
51-100	0,85235	0,14765	138,0	0,92617
101-150	0,84252	0,15748	117,0	0,92126

Закінчення табл. 6

1	2	3	4	5
151-200	0,85981	0,14019	99,5	0,92991
201-250	0,79348	0,20652	82,5	0,89674
251-300	0,68493	0,31507	61,5	0,84247
301-350	0,52000	0,48000	38,0	0,76000
351-400	0,00000	1,00000	13,0	0,50000
		Наработка до отказа, дни		333,96
		Наработка до отказа, ч		1335,85

Выводы и предложения. Таким образом, наработка до отказа кинескопных телевизоров составляет 1344 ч, для жидкокристаллических – этот показатель равен 1360 ч и для плазменных – 1335 ч. Из этого следует, что наработка до отказа несколько больше у жидкокристаллических и меньше всего у плазменных телевизоров, хотя разница между показателями незначительная. Это связано, очевидно, с тем, что элементная база современных телевизоров существенно не отличается. Также следует учитывать, что около 50 % отказов приходится на интегральные микросхемы и 25 % – на транзисторы, а элементная база данных типов телевизоров на 85-90 % одинакова (доля отказов матриц 10-20 %). Следовательно надежность, а точнее наработка до отказа, в пределах 80 % определяется, главным образом, надежностью комплектующих изделий. К тому же надо учесть, что в кинескопных телевизорах отработана технология их производства и надежность их достаточно высока. Они уступают телевизорам новых поколений, но, главным образом, по четкости изображения, потреблению электроэнергии, дизайну и ряду эргономических характеристик. Плазменные телевизоры, как известно, занимают незначительную долю в объеме реализации телевизоров, и это связано с тем, что они представлены моделями с большими диагоналями экрана и потребляют много энергии, а по надежности они незначительно уступают жидкокристаллическим и кинескопным телевизорам.

Исходя из вышеизложенного, для ремонтируемых изделий важное значение имеет определение оптимальных сроков их службы. Такие сроки можно учитывать при составлении научно обоснованных планов производства, реализации, ремонта товаров, а также планов производства комплектующих и запасных деталей и частей.

Список использованных источников

1. *Перроте А. И.* Вопросы надежности РЭА / А. И. Перроте, М. А. Сторчак. – М. : Сов. Радио, 1976. – 184 с.

2. *Гречухин Е. А.* Цветные телевизоры: главное – надежность / Е. А. Гречухин // ЭКО. – 1987. – № 5. – С.135-149.

3. *Кубарев А. И.* Надежность машин, оборудования и приборов бытового назначения / А. И. Кубарев, Е. А. Панфилов, Б. И. Хохлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1987. – 336 с.

4. *Романов В.* Количественная оценка надежности интегральных микросхем с учетом математической модели отказов / В. Романов // ЭкиС. – К. : VD MAIS, 2005. – № 4. – С. 4-7.

5. *Корниенко Р.* Из опыта ремонта телевизоров Samsung на шасси S16A /B/ C /D производства ООО «Телебалт» / Р. Корниенко, С. Яшин // Ремонт &Сервис. – 2008. – № 9. – С. 12-15.

6. *Капур К.* Надежность и проектирование машин / К. Капур, Л. Ламберсон. – М. : Мир, 1980. – 604 с.

7. *Маликов И. М.* Проблемы надежности и количественные характеристики надежности / И. М. Маликов. – Л., 1986.

8. *Фомин В. М.* Нормирование показателей надежности / В. М. Фомин. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 140 с.

9. *Данилин Н. С.* Обеспечение качества РЭА методами диагностики и прогнозирования / Н. С. Данилин [и др.]. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 224 с.

10. *Автономов А. И.* Оценка телевизоров потребительскими организациями за рубежом / А. И. Автономов, Е. С. Анкирский // Техническая эстетика. – 1981. – № 2. – С. 20-21.

УДК 681.518.3:528.92

В.І. Зацерковний, канд. техн. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

В.Г. Бурачек, д-р техн. наук
Університет новітніх технологій, м. Київ, Україна

В.В. Казимир, д-р техн. наук
І.С. Скітер, канд. фіз.-мат. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКОМ ТЕРИТОРІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІС

Розроблена модель управління розвитком територій за допомогою ГІС, де процес управління розглядається як результат соціально-економічного розвитку регіону на і-ому етапі, тобто є сукупністю методів та засобів вимірювань та оцінювання стану процесу за досягнутим результатом.

Ключові слова: *інформаційні технології (ІТ), геоінформаційна система (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), геоінформаційний аналіз (ГА).*

Разработана модель управления развитием территорий с помощью ГИС, где процесс управления рассматривается как результат социально-экономического развития региона на і-м этапе, т. е. является совокупностью методов и способов измерений и оценки состояния процесса по достигнутому результату.

Ключевые слова: *информационные технологии (ИТ), геоинформационная система (ГИС), геоинформационные технологии (ГИТ), геоинформационный анализ (ГА).*

The model of development management areas using GIS, where the process of management is considered as a result of socio-economic development of the region of the i-th stage, that is a set of methods and techniques for the measurement and evaluation of the process on the results achieved.

Key words: *information technologies (IT), geographic information system (GIS), geoinformation technologies (GIT), geoinformation analysis (GA).*

Постановка проблеми. Одним із найважливіших напрямів економічного зростання країни, досягнення конкурентних переваг у глобалізованому світі є раціональне й ефективне використання ресурсного потенціалу території [1].

У процесі управління певною територією доводиться оперувати величезними об’ємами даних, вирішуючи проблеми вибору стратегії розвитку (економічного, соціально-демографічного, екологічного тощо), раціонального природо- і землекористування. Тобто управління територією потребує постійного моніторингу та аналізу динаміки різноманітних даних про розвиток об’єкта управління. Фактично це інформаційно-аналітична задача і від ефективності її розв'язку й залежить якість управління територією. Оскільки просторова інформація найчастіше є вирішальною для забезпечення соціально-економічного розвитку, планування й управління територіями, а геоінформаційні технології (ГІТ) забезпечують єдину просторову уніфікацію такої інформації та її спільне використання, сучасні геоінформаційні системи (ГІС) визнані у світі одним з універсальних інтегрованих інформаційно-технологічних засобів вирішення різноманітних регіональних проблем [2]. Саме тому першочерговим завданням є максимально ефективне використання ресурсів територіальних утворень за рахунок широкого впровадження інформаційних технологій (ІТ), передусім геоінформаційних систем (ГІС), космічних систем глобального позиціонування (GPS, ГЛОНАСС) і дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), можливостей мережі Інтернет.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвитку і становленню ГІС суспільство завдячує багатьом зарубіжним, радянським, пострадянським і вітчизняним ученим, серед яких: О.М. Берлянт, Л.М. Бугаєвський, Б.С. Бусигін, В.Г. Бурачек, Дж. Данджермонд, О.О. Желєзняк, О.О. Іщук, Х. Калкінз, Є.Г. Капралов, Ю.О. Карпинський, Ю.К. Корольов, А.В. Кошкарьов, І.К. Лур’є, М. де Мерс, Х. Мейсон, В.Б. Мокін, В.В. Морозов, О.О. Світличний, Є.С. Серединін, В.С. Тікунов, З.Ф. Томпліпсон, В.Д. Шипулін, В.Я. Цвєтков та багато інших.

Розвитку математичних методів дослідження динамічних систем присвячені роботи вчених О.А. Самарського, В.М. Глушкова, О.Г. Івахненко, М.З. Згуровського. Значний внесок у розвиток технологій імітаційного моделювання внесли Р. Шеннон, Дж. Гордон, Т.Дж. Шрайбер, А. Прицкер, В. Кельтон, А. Лоу, Н.П. Бусленко, В.В. Литвинов, В.М. Томашевський. Теоретико-методичні основи застосування ГІС у галузі управління територіальними ресурсами наведені в роботах С.О. Довгого, С.С. Кохан, В.І. Лялька, В.М. Шестопалова, М.А. Якимчука та ін. Теоретичні засади та приклади імітаційного моделювання кризових ситуацій наведені у працях В.С. Готиняна, О.Г. Додонова, М.І. Желєзняка, Г.Я. Красовського, О.М. Попова, О.П. Прохорова, О.М. Трофимчука та інших.

Визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба зазначити, що проблема розроблення моделей, методів та засобів геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системах управління територіями не має достатньо глибокого системного опрацювання за причиною відсутності цілеспрямованих досліджень її теоретико-методологічного і методичного інструментарію.

Постановка завдання. Підвищення ролі територіальних утворень, їх господарської самостійності і використання їх ресурсів висвітлило, перш за все, організаційну недосконаліть діючої системи управління територіями. Тому розроблення і впровадження ефективних інформаційних технологій в управління територіями – нагальна потреба сьогодення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нині існує декілька підходів щодо побудови ГІС, у яких моделі ГІС подаються з підкресленням ролі картографічної інформації, картографічних даних. Так у працях [3; 4] наведено узагальнене уявлення ІС, де розглядається математична модель на основі функціональної схеми перетворення даних (рис. 1).

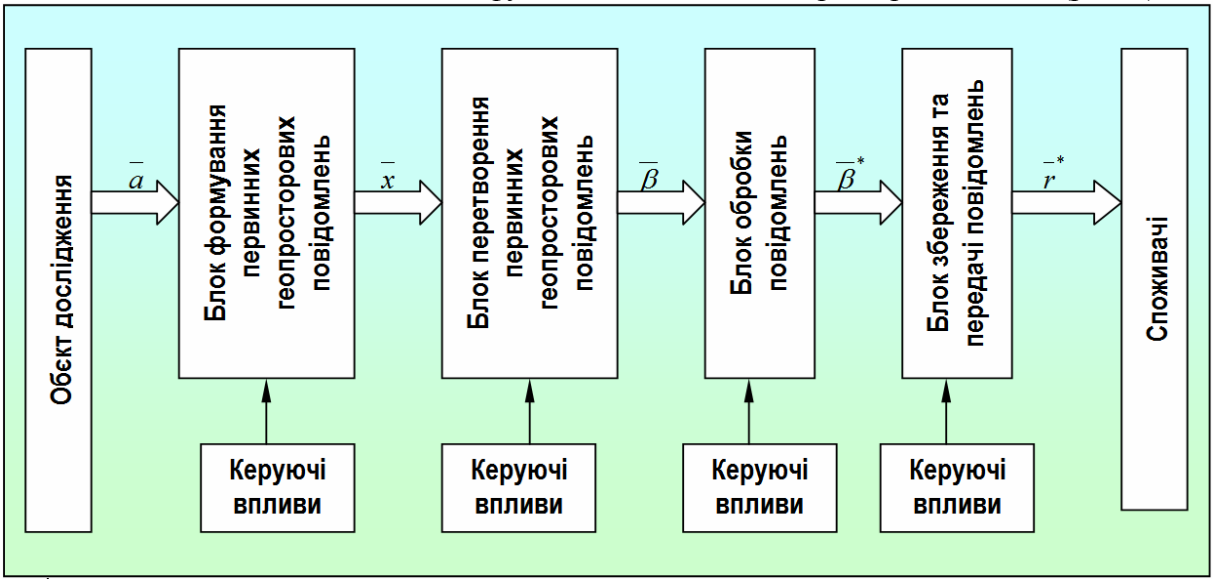


Рис. 1. Функціональна схема розімкнутої ГІС

ГІС розглядається як абстрактна розімкнена ІС, що опрацьовує повідомлення та подається групою підсистем, які відповідають певним технологічним етапам.

Перша група сприймає вплив $\bar{a}$ від об'єктів досліджуваної території, в результаті чого формується первинне повідомлення $\bar{x}$, яке несе інформацію про властивості об'єктів у вигляді певних характеристик або показників. Такими є просторові координати об'єкта та його зображення, зафіксоване на матеріальному носії, результати вимірювань параметрів різних процесів на об'єкті або у його навколишньому середовищі тощо. Носіями первинного повідомлення $\bar{x}$ є матеріали дистанційного зондування Зе-

млі (ДЗЗ), результати наземних інструментальних зйомок, семантичні відомості та описи об'єктів на поверхні Землі.

У загальному випадку первинні повідомлення $\bar{x}$ можуть подаватись у цифровому, дискретно-аналоговому та діалоговому видах. Системи формування первинних повідомлень $\bar{x}$ – це геодезичні прилади: віддалеміри, висотоміри, сканери, дігітайзери тощо. До більш складних пристроїв можна віднести фотоапарати, геодезичну, супутникову, фотограметричну та картографічну апаратуру, космічні засоби ДЗЗ.

Друга група – засоби перетворення первинних повідомлень, що перетворюють повідомлення $\bar{x}$ до виду $\bar{\beta}$, що дозволяє виконувати подальше оброблення на обчислювальних засобах.

Зазвичай, у цій підсистемі повідомлення аналогового виду перетворюються у цифрові формати (внутрішні формати обробки ГІС).

Третя група – засоби оброблення повідомлень, що призначені для перетворення повідомлень $\bar{\beta}$ у найбільш прийнятну для користувача форму $\bar{\beta}^*$, яка дозволяє добути з них необхідну інформацію.

Четверта група – засоби збереження й видачі інформації у вигляді запиту користувача $\bar{r}^*$.

Під час оброблення, збереження та передачі первинних повідомлень $\bar{x}$ до них надходять керуючі впливи та збурення. Основними факторами, що зумовлюють збурення, є обмежена ємність запам'ятовуючих пристроїв та пропускна спроможність каналів зв'язку, а також дії різних випадкових та навмисних завад, недосконаліть апаратури та технологій оброблення, похибки операторів тощо.

У ГІС функціонують повідомлення: первинні $\bar{x}$, оброблені (вторинні) $\bar{\beta}$, призначені для зберігання та передачі за каналами зв'язку, оцінювання перетворених $\bar{\beta}^*$ і виданих користувачу $\bar{r}^*$ повідомлень. Кожне перетворення підсистем представлено функціональним оператором.

Тоді маємо:

$$\bar{x} = P\bar{a}; \qquad \bar{\beta} = \Phi\bar{x}; \qquad \bar{\beta}^* = \Omega\bar{\beta}; \qquad \bar{r}^* = \Psi\bar{\beta}^*,$$

де P – оператор первинного перетворення картографічних повідомлень; Φ – оператор подання; Ω – оператор обробки; Ψ – оператор збереження та передачі.

Отже, модель передбачає перетворення досліджуваного стану об'єкта $\bar{a}$ у зручну для користувача інформацію у формі $\bar{\beta}^*$, а після оброблення та збереження з певним оцінюванням $\bar{r}^*$ повідомлення.

Усі перетворення, що виконуються системою, описуються оператором A:

$$\bar{r} = A\bar{x}. \qquad (1)$$

Функціональний оператор A характеризує головну мету (задачу) перетворень у ГІС і за своєю суттю є її математичною моделлю під час оброблення повідомлень без спотворень. Загальний вираз математичної моделі має вигляд:

$$\gamma = G(a, \gamma), \qquad (2)$$

де γ – стан системи в момент часу t і t_1, який знаходиться у вигляді $Y_{t_1} = \varepsilon(a, y, t)$, де ε – оператор зміни стану ГІС.

До недоліків наведеної концепції [4] можна віднести відсутність у моделях чітко визначеного зворотного зв'язку, який міг би бути базою для формування сигналу узгодження [$\rho(\bar{\beta},\bar{\beta}^*),\rho(\bar{r},\bar{r}^*)$ або $\rho(\bar{x},\bar{r}^*)$], без якого управління ГІС є проблематичним. Іншим недоліком, на нашу думку, є інтерпретація даних ГІС як виключно картографічних даних.

Реальний процес оцінювання ситуації в ГІС ґрунтується на методі порівняння результату геосистемного аналізу (ГА) $\tilde{a}$ з поставленим йому у відповідність можливим результатом *a* за шкалою із множини моделей можливих результатів:

$$\Delta a = \tilde{a} - a. \tag{3}$$

Припустимо, що значення різниці Δa значною мірою є доступною для визначення при ГА. Існує результат ГА (процесу), який відбувається у геоінформаційному метричному просторі та отриманого за даними моніторингу цього простору – реалізація $\tilde{x}$ із множини X ($\tilde{x}$ – може приймати значення всередині діапазону X). G – множина фізичних моделей реалізацій, які доступні для спостереження та вимірювання. Фізична модель реалізації $\tilde{g}$ ставиться у відповідність реалізації $\tilde{x}$ за умови $\tilde{x} - \tilde{g} = \Delta r \to 0$.

Маючи справу з поняттями: "досліджуваний об'єкт", "модель", "тезаурус" "порівняння", визначимо завдання ГІС, як завдання оцінювання результату (на певному етапі розвитку). Розглянемо розв'язання задачі у порівнянні "реальний фіксований об'єкт" – "керована модель".

Маємо об'єкт $x^0 \in X$ та тезаурус *M*. Порівнюючи x^0 з $m \in M$, обираємо з множини *M* модель *m**, найбільш наближену до x^0 у значенні критерію порівняння, тобто:

$$m^* = \arg\min_{m \in M} r(x^0, m). \tag{4}$$

Схема системи оцінювання наведена на рис. 2.

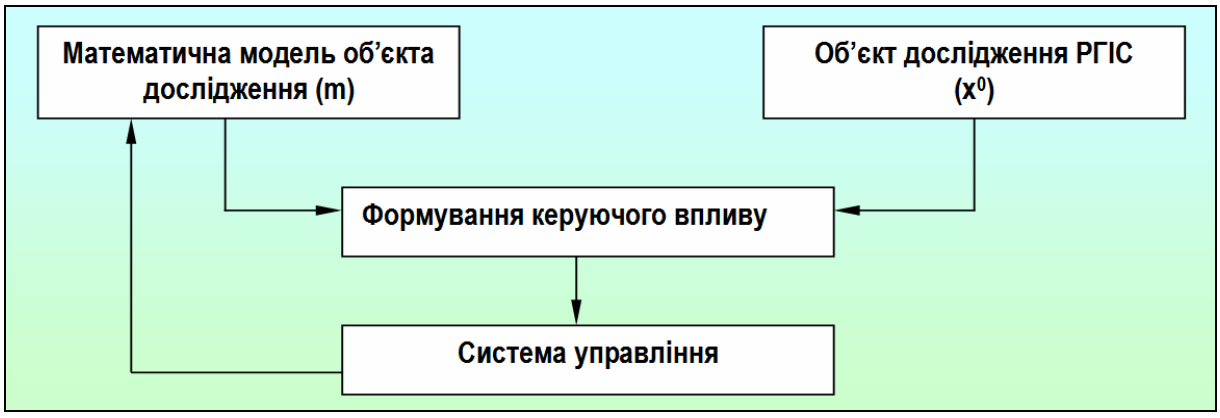


Рис. 2. Схема вибору моделі управління за заданим об'єктом

Система управління за допомогою системи управління *y* підбирає відповідну об'єкту x^0 модель *m**, впливаючи на об'єкт (*x*) і переводячи його у стан *x**, найбільш наближений до m^0 у значенні критерію порівняння *r*. Вираз (4) описує відому процедуру стохастичної апроксимації, яка забезпечує збіжність з мінімальною помилкою.

$$P\left\{\lim_{i\to\infty}\left[r(\bar{a}_i) - r(\bar{a}^*)\right] = 0\right\} = 1, \tag{5}$$

де *P* – ймовірність; $\bar{a}_i$ – екстремальні значення параметрів; $\bar{a}^*$ – отриманий результат аналізу. Вираз (5) – це формула оцінювання результату у загальному вигляді.

Задача оптимізації результату за схемою “фіксована модель” – “керований об’єкт” є:

$$x^* = \arg\min_{x \in X} r(x, m^0). \quad (6)$$

Далі спрямовується на мінімізацію розбіжностей між поточним станом об’єкта та його фіксованим (планованим, бажаним) станом відповідно до моделі m^o.

Уточнюючи (6), маємо:

$$x^* = \arg\min_{x \in X} r\left[m^*(x), m^0\right] = \arg\min_{x \in X} r\left[\arg\min_{m \in M} r(x, m), m^0\right], \quad (7)$$

де $m^*(x) = \arg\min_{m \in M} r(x, m)$ – поточний стан об’єкта (результат оцінювання), який змінюється у процесі управління об’єктом. Тобто у цьому випадку відбувається безпосереднє управління моделлю, але сам об’єкт дослідження залишається незмінним.

На рис. 3 показано управління об’єктом x за результатом r (порівняння об’єкта із заданою моделлю m^o).

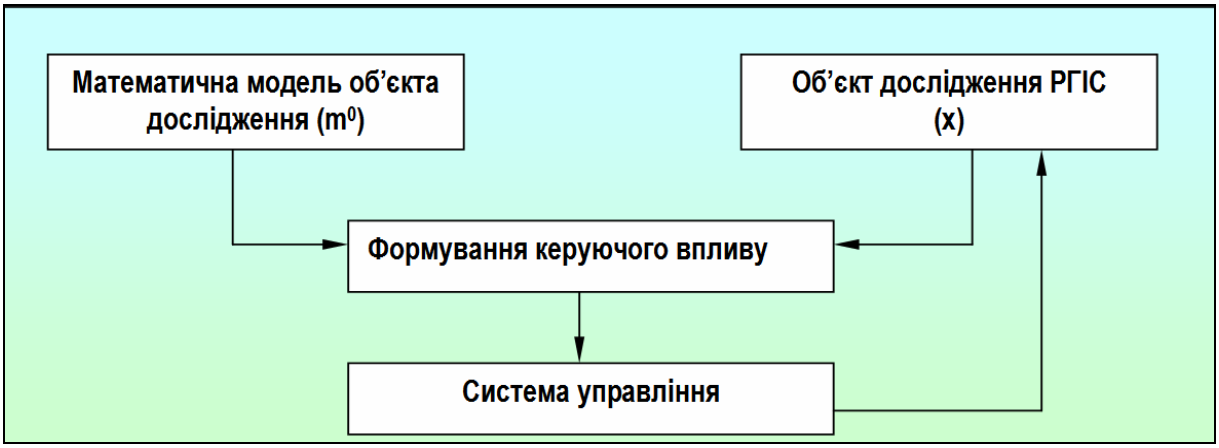


Рис. 3. Схема вибору об’єкта управління за заданою моделлю

ГІС в управлінні територіями можна інтерпретувати як систему оцінювання результату процесу (наприклад, результат соціально-економічного розвитку регіону на i-ому етапі), тобто сукупності методів та засобів вимірювань й оцінювання стану процесу за досягнутим результатом.

Наведена методологія аналізу достатньо простих тематичних ГІС може використовуватися за однією з вищеперерахованих схем (рис. 2, 3).

Багатокомпонентні і багатофункціональні системи мають множину впливів на процес функціонування, що потребує окремого дослідження.

Проблеми теорії оцінювання результату розвитку соціально-економічної системи (СЕС), якою є територіальне утворення, виникають у зв’язку з наявністю чинників впливу, які не враховуються повністю або частково робочою моделлю об’єкта. Це ускладнює вирішення головного завдання – формування даних і рекомендацій за вибором оптимальних рішень процесів розвитку (управління з мінімальною помилкою під час неконтрольованого збурення), розглядати ГІС в управлінні територіями як систему спостереження та вимірювання фізичних явищ простору: вимірювання, збирання й оцінювання параметрів поточного процесу соціально-економічного розвитку певної території та вироблення даних для управління процесом.

Вихідну модель системи управління процесом соціально-економічного розвитку територій із застосуванням ГІС побудуємо на основі інтерпретації вищеописаної моделі з відповідним змістом і властивостями елементів, що входять до складу системи та їх взаємозв’язку (рис. 4):

X – множина реальних об'єктів (процесів соціально-економічного розвитку певної території). Множина *X* сформована з існуючих можливостей (засоби, ресурси, кадри), досвіду інших країн, регіонів, досвіду минулих років. Очевидно, що *X* містить стохастичну складову, яка відбиває невраховані моменти (неконтрольовані збурення).

M – тезаурус, множина математичних моделей, які описують процеси, що відбуваються на певній території, теоретичне міркування про реальні об'єкти, повнота якого визначається станом теорії та постановкою практичного завдання.

G – множина способів та засобів ГІС, які здійснюють збирання, оброблення інформації та забезпечують адекватне відтворення математичних моделей, що містяться в тезаурусі *M*.

G – це фізичні моделі («еталони»), що описують результат у реальному масштабі часу, тобто *G* – це способи та засоби ГІС в управлінні територіями, які упорядковані в геоінформаційному метричному просторі та який виконує роль шкали еталонів моделей, що містяться в *M* (тобто *G* – фізичні моделі).

В ідеальному варіанті *X*, *M* та *G* у представленій схемі (рис. 5) можна вважати еквівалентними множинами.

MB_x – механізм вибору процесу (об'єкта *x*) визначається запланованим результатом y_u, обраним з урахуванням обмеження можливостей в аспекті планованих термінів, ресурсів, які використовуються, політичної ситуації та інших відомих та прогнозованих чинників.

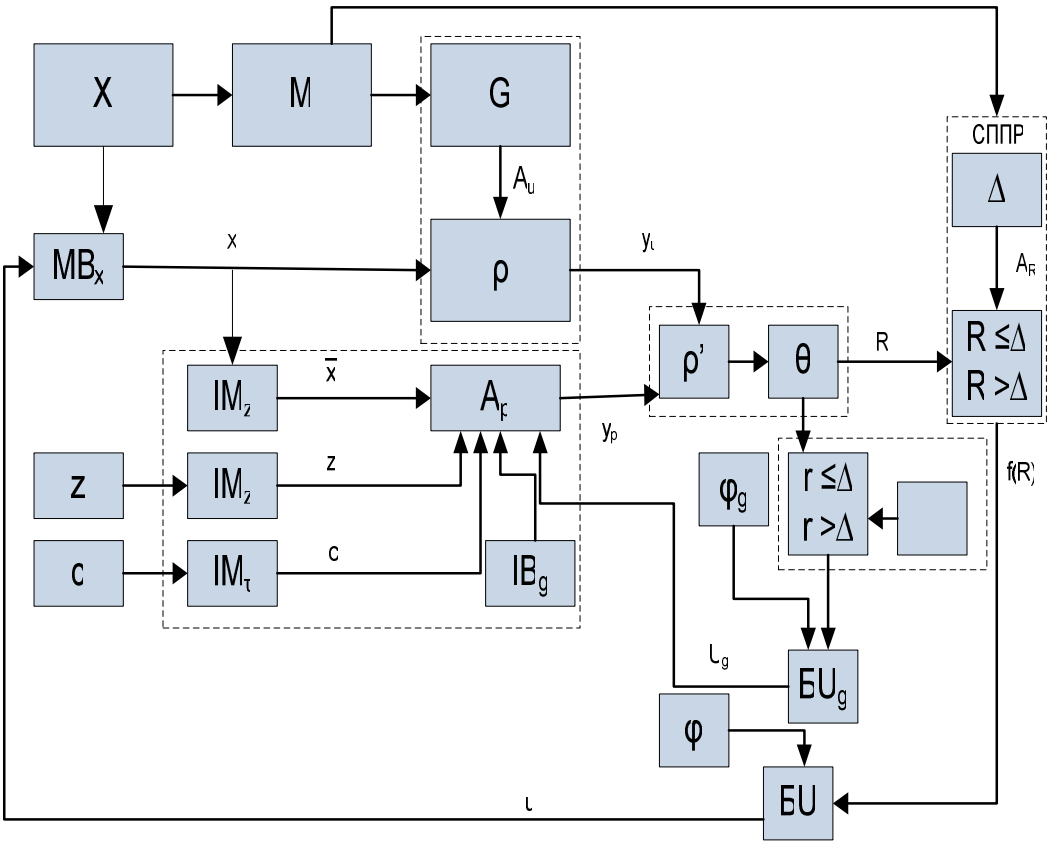


Рис. 4. Теоретична вихідна модель системи управління процесом соціально-економічного розвитку із застосуванням ГІТ зі зворотним зв'язком і СППР

Наведений процес відбувається в ідеальній системі, що описується оператором A_u, де оператор порівняння ρ ідентифікує *x* з відповідним еталоном з множини *G*, найбільш наближеним до *x* за критерієм ρ.

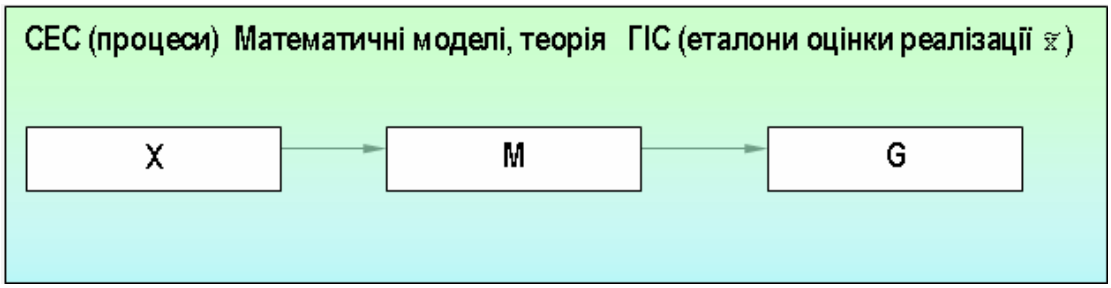


Рис. 5. Узагальнена модель соціально-економічного розвитку регіону із застосуванням ГІС

Система є детермінованою, а результат процесу y_u – модель об'єкта *x*, – вільною від похибок. У реальній системі з оператором A_p враховується наявність неконтрольованих факторів впливу, для чого вводяться можливі управління u_g, обрані з множини U_g, обмеженої існуючими ресурсами φ_g.

До факторів, що здійснюють неконтрольований вплив на результат вимірювання, потрібно віднести:

– обмеження кількості і (або) тривалості доступних для спостереження реалізацій досліджуваного процесу, тобто будемо спостерігати тільки окремі реалізації процесу $\tilde{x}(t)$, проявом яких керує ймовірнісний механізм IM_x, що визначає статистичний характер проблеми оцінювання;

– дія зовнішніх неконтрольованих збурень – процесів *z(t)* – зміна зовнішньої економічної ситуації, погодних умов тощо. Ці процеси впливають на результат y_p та змінюються у часі непередбаченим чином (реалізації *z(t)* обираються механізмом IM_z);

– викривлення інформації у множині *G* (недосконаліть фізичних моделей ГІС) через ентропію під час недосконалості теоретичного підходу в *M*, під час застосування застарілого картографічного матеріалу, похибок вимірювання та їх інтерпретації, відхилення значень параметрів еталонів в ідеальній системі від номінальних значень через недосконаліть опису фізичних моделей множини *G* (визначено ймовірнісним механізмом IM_g).

Враховуючи наведене, можна зробити висновок, що реальна система є стохастичною. Похибка оцінювання результату досліджуваного реального процесу (похибка реальної системи) може бути виражена значенням функціоналу та є випадковою величиною й повністю характеризується своїм законом розподілу.

При заданому допуску Δ оператор управління (контролю) A_r порівнює *r* та Δ_g і надає пропозиції щодо необхідності введення в ГІС сигналу управління u_g (при $r > \Delta_g$). Потім відбувається вибір управління U_{g^*} у відповідності з алгоритмом $x^* = \arg\min_{x \in X} r(x, m^0)$.

Відхилення значень параметрів *c(t)* елементів від номінального значення в результаті неконтрольованого технологічного відхилення процесів розвитку визначається ймовірнісним механізмом неконтрольованого впливу IM_c.

Висновки дослідження. В ідеальній системі (детермінованій, гіпотетичній) апріорна невизначеність знімається повністю й об'єкт ідентифікується з конкретним елементом тезаурусу. При цьому кількість отриманої інформації залежить від об'єкта тезауруса та дорівнює початковій ентропії.

У реальній системі існує певна невизначеність через дію механізмів $BM_{\tilde{x}}$, IM_z, IM_c, IM_g. Остаточна невизначеність є похибкою системи (похибкою оцінювання відхилення результату процесу розвитку від запланованого) і процес усунення похибки або аналізу й оцінювання, її врахування у прийнятому рішенні доцільно зробити за допомогою СППР, яка на певній стадії покаже особі, що приймає рішення (ОПР), похибку результату для визначення останнім подальших дій.

Список використаних джерел

1. *Карпенко С. А.* Региональная система управления социально-экономическим развитием как объект изучения / С. А. Карпенко // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия „География". – Симферополь : ТНУ, 2001. – Т. 14, № 1. – С. 63-69.
2. *Бурачек В. Г.* Геоінформаційний аналіз просторових даних / В. Г. Бурачек, О. О. Желєзняк, В. І. Зацерковний. – Ніжин : Аспект-Поліграф, 2011. – 440 с.
3. *Конон Н. И.* Об информационных характеристиках геоинформационных систем / Н. И. Конон // Геодезия и картография. – 2001. – № 4. – С. 43-46.
4. *Конон Н. И.* Концепция математической модели геоинформационных систем / Н. И. Конон // Геодезия и картография. – 2001. – № 6. – С. 48-54.

УДК 004.77+004.652

Є.В. Риндич, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СЕРВІСНО-ОРІЄНТОВАНА АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У СФЕРІ НАДАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

Визначено особливості методики сервісно-орієнтованої архітектури. Проаналізовано на адекватність застосування механізму SOA для інформаційних систем підприємств, що надають транспортні послуги. Запропоновано використовувати архітектуру на базі веб-сервісів для підприємств, що надають транспортні послуги.

***Ключові слова**: сервісно-орієнтована архітектура, інформаційна система, бізнес-процес, інтеграція даних, сфера транспортних послуг.*

Определено особенности методики сервисно-ориентированной архитектуры. Проанализировано на адекватность использование механизма SOA для информационных систем предприятий, которые предоставляют транспортные услуги. Предложено использовать архитектуру на базе веб-сервисов для предприятий, которые предоставляют транспортные услуги.

***Ключевые слова**: сервисно-ориентированная архитектура, информационная система, бизнес-процес, интеграция данных, сфера транспортных услуг.*

The features of methodology of the service-oriented architecture are certain. It is analysed on adequacy of application of mechanism of SOA for the informative systems of companies providing transportation services. An architecture based on the use of web services for companies that provide transportation services.

***Key words**: service-oriented architecture, informative system, business process, integration of data, tourist sphere.*

Постановка проблеми. Постійні зміни в розвитку міст сучасної України ставлять нові вимоги до розвитку транспортної інфраструктури. Ці вимоги ставлять перед підприємствами щодо надання транспортних послуг такі важливі завдання – за допомогою засобів автоматизації та інформаційних технологій у цілому підвищити інформативність транспортної системи, гнучкість, скоротити час реакції на будь-які зовнішні чи внутрішні зміни у системі. Інформатизація галузі дозволить вирішувати тактичні та стратегічні завдання як щодо змінення задіяного на маршруті рухомого складу, так і створення нових маршрутів на основі попереднього аналізу отриманої інформації.

Проте типова обчислювальна структура сучасних українських міських транспортних підприємств характеризується значною ізольованістю її складових, що призводить до затримок у виконанні бізнес-процесів, до порушення взаємодії між підрозділами, перешкоджає управлінню та контролю й не дозволяє проводити управління і контроль у режимі реального часу.

Відсутність інтегрованості приводить до того, що використання інформаційних технологій є неефективним. Це пов'язано з відсутністю архітектурних стандартів у зазначеній галузі, однак попит модернізації сучасних інформаційних систем автотранспортних підприємств стає все більш актуальною [1; 2].

До кінця минулого століття під час побудови інформаційних систем домінував підхід, що ґрунтується на аналізі й управлінні інформаційними потоками. Проте з часом, як більш універсальний та інформативний, став розглядатися орієнтований у процесі

підхід, у межах якого вибір і зміна структури інформаційної системи, склад її компонент та основні характеристики здійснюються від процесу залежно від його побудови та особливостей, що визначаються кінцевими користувачами.

Така зміна позиції розробників викликала в інформаційних системах потужний напрям у теорії, методах і технології розроблення систем – моделювання й управління бізнес-процесами, на основі якого були створені всі відомі ERP-системи [3].

Сучасні напрямки розвитку управління роботами зміщується в сторону управління бізнес-процесами. Бізнес-процес визначає, що має бути зроблено та встановлює відношення вхідних та вихідних даних. Такі зміни в побудовах інформаційних систем мають на меті використання сервісно-орієнтованої архітектури (SOA), а саме виділення сервіс-елементів, з яких синтезуються бізнес-процеси.

Розроблення сервісно-орієнтованої архітектури для підприємств, що надають транспортні послуги, є необхідністю у зв'язку з сучасними напрямками розвитку інфраструктури в Україні в цілому та в Чернігівській області зокрема.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сервісно-орієнтована архітектура – це архітектурний шаблон програмного забезпечення, що запроваджує архітектурну модель, спрямовану на покращення ефективності, швидкості та продуктивності роботи підприємства завдяки позиціюванню служб як первісних засобів вирішення проблем щодо підтримки стратегічних напрямків діяльності підприємства.

Програмні комплекси, розроблені відповідно до сервісно-орієнтованої архітектури, звичайно, реалізуються як набір веб-служб, що взаємодіють за протоколом SOAP, але існують і інші реалізації (Jini, CORBA, на основі REST).

Інтерфейси компонентів у сервісно-орієнтованій архітектурі інкапсулюють деталі реалізації (операційну систему, платформу, мова програмування) від решти компонентів, таким чином забезпечуючи комбінування і багаторазове використання компонентів для побудови складних розподілених програмних комплексів, забезпечуючи незалежність від використовуваних платформ та інструментів розробки, сприяючи масштабованості і керованості створюваних систем [4].

Використання компонентів дозволяє вносити швидкі зміни в процеси, що дозволяє підвищити ефективність системи в цілому. Для виконання завдань, що виникають при цьому, використовують бізнес-інструменти, які забезпечують:

– побудову нових бізнес-функцій;

– встановлення зв'язків між бізнес-функціями, що виділяються з існуючих застосувань;

– генерування потоків робіт для виконання бізнес-процесів.

Сервісно-орієнтована архітектура обов'язково передбачає наявність таких компонентів: постачальника, реєстру та споживача сервісів. Взаємодія між компонентами має на меті спростити пошук та доступ до сервісів [5]. Загальна схема сервісно-орієнтованої архітектури інтеграційної платформи у сфері надання транспортних послуг наведена на рис. 1.

SOA – це така архітектура додатка, в якої компоненти або сервіси, маючи погоджені загальні інтерфейси, використовують єдині правила (контракт) для визначення того, як викликати сервіси і як вони взаємодіятимуть один з одним. У цій системі поняття "клієнт" і "сервер" абсолютно ситуативні. В одному випадку додаток може працювати як клієнтський і викликати зовнішній сервіс, а деякий час після цього, він може стати постачальником сервісів під час звернення до нього іншим застосуванням з метою виконання будь-яких завдань. Якщо SOA розроблена правильно, вона здатна здійснити побудову і підтримку інтеграції, побудованої за архітектурою "клієнт-споживач" [3]. Використовуючи SOA, підприємства, що входять до загальної транспортної інфраструктури, можуть гнучко і динамічно генерувати нові сервіси, комбінуючи логіку існуючих застосувань та представляючи її за допомогою повторного використання сервісів.



Рис. 1. Загальна схема сервісно-орієнтованої архітектури інтеграційної платформи у сфері надання транспортних послуг

Архітектура SOA використовується для скорочення витрат, оскільки під час створення цієї архітектури користувалися такими принципами [3]:

– архітектура, не прив'язана до якоїсь конкретної технології;

– незалежність організації системи від використовуваної обчислювальної платформи;

– незалежність організації системи від вживаних мов програмування;

– використання сервісів, незалежних від конкретних застосувань, з одноманітними

– інтерфейсами доступу до них;

– організація сервісів як слабопов'язаних компонентів для побудови систем.

Мета статті. Створити сервісно-орієнтовану архітектуру у сфері надання транспортних послуг, що дозволить збільшити швидкість реагування на постійні зміни вимог у сфері надання транспортних послуг та дозволить забезпечити необхідний рівень інтеграції між інформаційними системами за допомогою SOA.

Основна частина.

1. Сучасні інформаційні системи, які використовуються у сфері надання транспортних послуг.

Аналіз сучасних комп'ютерних систем показав, що в Україні використовуються багатофункціональні інформаційні системи у сфері надання транспортних послуг. Однак ці системи розраховані на використання у межах одного автотранспортного підприємства. Розширення цих систем можливо лише в напрямку нарощення кількості інформаційних потоків та обчислювальних можливостей цих комплексів. Базовою архітектурою таких систем є клієнт-серверна архітектура.

У завдання серверної частини входить:

− відображення положення транспортних засобів на карті;

− перерахунок та розсилка графіків руху транспорту;

− збереження і відображення історії руху транспортних засобів;

− виявлення ситуацій відхилень від маршрутів;

− виявлення занадто великої різниці між зданою водієм виручкою й очікуваною, згідно з підрахованою кількістю пасажирів;

− ведення картотеки водіїв, підрахунок порушень та втрат прибутку для кожного з них;

– повідомлення диспетчера про виявлені порушення, нестандартні ситуації, втрати виручки;

– аналіз зібраної статистичної інформації для виявлення дефектів маршрутів.

Клієнтська частина виконує такі функції:

– дозволяти видавати водіям попередження у разі їх відхилення від поставленого маршруту або графіка;

– динамічно синхронізувати з сервером графік руху у разі його зміни;

– збирати інформацію про кількість пасажирів, швидкості руху транспортного засобу на всьому маршруті і відправляти її на сервер;

– повідомляти водія про те, скільки пасажирів зайшло на зупинці;

– відловлювати різкі стрибки у втраті палива, що є ознакою його крадіжки;

– відловлювати ситуації пошкодження, або виведення з ладу датчиків, відключення системи і повідомляти про це на сервер та виводити попередження водієві.

Здобутком України в цьому напрямку можна вважати систему transit.in.ua, яка впроваджена ТОВ «Міський диспетчерський центр» м. Дніпропетровськ у кінці 2012 року [6]. Ця система у режимі реального часу дозволяє відслідковувати маршрутні засоби на мапі міста (рис. 2).



Рис. 2. Інтерфейс системи transit.in.ua

Однак, хоча система і підтримує інші міста, крім Дніпропетровська, внесення даних можливо лише при безпосередньому використанні компонентів цієї системи на транспортних засобах іншого міста. Таким чином, використання системи пов’язано з використанням конкретної технології й унеможливлює використання зовнішніх компонентів та систем і вимагає жорсткого зв’язку компонентів у системі.

2. Стандарти веб-сервісів, які можна використати під час створення інформаційної системи у сфері надання транспортних послуг.

Як було зазначено вище, одним із найкращих відомих рішень у побудові платформо незалежних систем є веб-сервіси, до складу яких належить багато стандартів:

- WSDL – мова опису сервісів;
- SOAP – протокол обміну повідомленнями;

- UDDI – універсальний формат каталогу для пошуку та інтеграції веб-сервісів;
- BPEL – мова реалізації бізнес-процесів.

Композиція веб-сервісів на основі елементарних робіт здійснюється за допомогою мови реалізації бізнес-процесів – Business Process Execution Language (BPEL). Вона з'явилася як результат об'єднання мови WSFL (Web Services Flow Language), розробленої корпорацією IBM, і мови XLANG, створеної в Microsoft. Мова розроблена на нотації XML.

Використання цієї мови дає змогу здійснити формування і виконання потоку робіт як послідовність логічних дій, що включають:

- прийняття запиту на включення роботи у процес;
- перевірка опису й у разі збігу параметрів – підготовку позитивного відгуку на запит;
- відхилення запиту з видачею обґрунтування.

Як правило, BPEL формує потік робіт, що складається з послідовностей логічних дій або активних операцій, кожній з яких відповідає свій квадратик на діаграмі потоку робіт або функція програмного коду. При цьому можливі дві форми використання BPEL [3]:

1. Виконуваний BPEL – процес, який також розглядається як сервіс і може бути вузлом оркестрування. Програмні продукти, що реалізують виконувані BPEL-процеси, називаються BPEL-engine (двигун BPEL-процесу). Тут один виконуваний процес може включати інший, що дає ефект включення одного оркестрування (послідовності сервісів) в інший.

2. Абстрактний процес є майже повністю ідентичний до виконуваного процесу, за винятком наповнення даними. У цій якості він являє собою логіку бізнес-процесу і використовується з такою метою:

– визначає поведінку елементів організаційної структури, що підтримує процес;

– є керівництвом для програмістів і розробників, що автоматизують процес;

– вважається входом для комерційного програмного забезпечення, що утворює структуру системи.

Мова опису зовнішніх інтерфейсів веб-служби WSDL (Web Services Description Language) використовується для передачі від провайдера послуг до споживача. Оскільки основою цієї мови є XML (eXtensible Markup Language) – текстовий опис, то передача даних не залежить ні від платформи, ні від мови програмування. Версія WSDL 2.0 має переваги, пов'язані зі спрощеною реалізацією REST-сервісів.

SOAP (Simple Object Access Protocol) – протокол обміну повідомленнями, який також написаний у форматі XML і призначений для передачі даних із веб-сервісів. Файли SOAP, що створюються автоматично, включають дані з опису сервісів у форматі WSDL. Перевагою SOAP є те, що він може використовуватись з будь-яким протоколом прикладного рівня: SMTP, FTP, HTTP.

UDDI є набором правил реєстрації і витягання даних про наявні сервіси. Розробляючи програми, програмісти можуть здійснювати пошук у реєстрі UDDI необхідних сервісів для включення їх у програми. Цей реєстр може бути необхідний у процесі виконання програми, якій необхідні сервіси, що надають дані, наприклад, про маршрути пасажирського транспорту.

Архітектура може бути представлена у стандартному для веб-сервісів вигляді – складатися з чотирьох рівнів (рис. 3).

Використавши мобільні пристрої з доступом до мережі Інтернет, клієнт набуває мобільності, а використання одного інваріанта для різних мережевих протоколів і мов програмування надає однаковий результат, прискорює розроблення програмного забезпечення і впровадження додаткової функціональності постачальника сервісу.

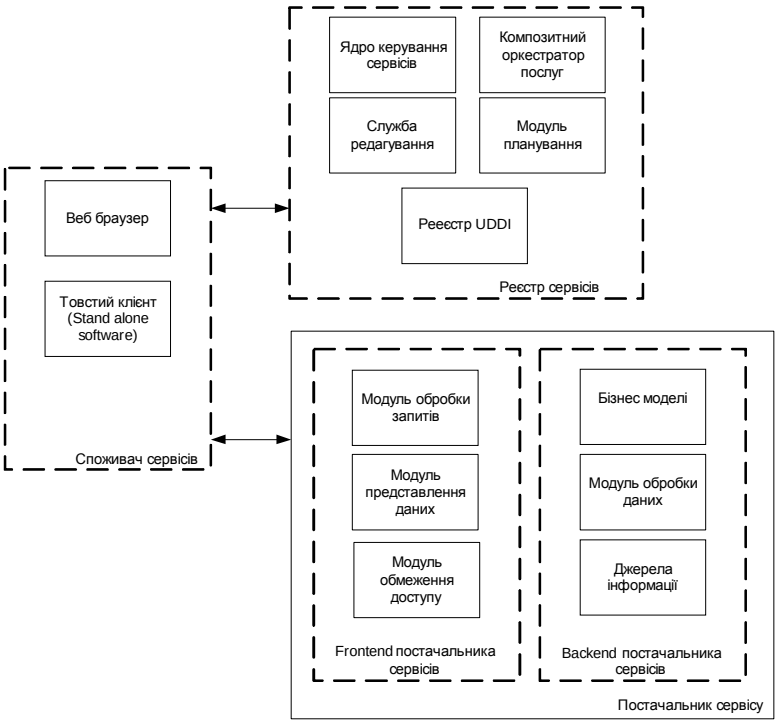


Рис. 3. Архітектура веб-сервісу інформаційної системи у сфері надання транспортних послуг

Висновки. У статті описана методика сервісно-орієнтованої архітектури для створення архітектури інформаційної системи у сфері надання транспортних послуг, що ґрунтується на сервісній орієнтації для досягнення тіснішого взаємозв'язку між бізнесом і підтримувальними інформаційними для бізнесу системами. Запропонована архітектура є більш гнучкою, ніж архітектура сучасних систем. Використання веб-сервісів надає можливість створення великої кількості не тільки постачальників сервісу, але й використання різних клієнтів як споживачів сервісів, надаючи мобільність клієнтам та збільшуючи інформативність такої системи за рахунок розширення функціоналу постачальника сервісу.

Запропоноване застосування сервісної орієнтації SOA не вимагає разових великих витрат і повного знищення звичного процесу функціонування системи, а лише приводить до більшої гнучкості та розширення функціоналу таких систем.

Список використаних джерел

1. *На Чернігівщині* розробляється нова Стратегія розвитку пасажирського автомобільного транспорту [Електронний ресурс]. − Режим доступу : http://monitor.cn.ua/ua/economics/4202.

2. *Концепция* развития городского пассажирского транспорта в городе Донецке на период до 2020 года [Электронный ресурс]. − Режим доступа : http://transport.donetsk.ua/concepcia.php.

3. *Угрин Д. І.* Дослідження сервісно-орієнтованої архітектури як інтеграційної платформи в туристичні сфері / Д. І. Угрин, В. В. Литвин // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" : збірник наукових праць. Тематичний випуск "Інформаційні системи та мережі". – Львів : Національний університет "Львівська політехніка", 2011. – № 699. – С. 260-270.

4. *Сервісно-орієнтована* архітектура [Електронний ресурс]. − Режим доступу : http://uk.wikipedia.org/wiki/SOA.

5. *Сервис-ориентированная* архитектура [Электронный ресурс]. − Режим доступа : http://www.citforum.idknet.com/internet/webservice/soa/.

6. *99 % маршруток* оборудованы системой GPS-контроля [Электронный ресурс]. − Режим доступа : http://gorod.dp.ua/news/76153.

РОЗДІЛ VI. ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.317.35

Р.В. Заровський, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМ ІЗ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ПІД ЧАС ВРАХУВАННЯ ПОСТІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Виконано синтез нелінійної корегуючої ланки для дискретно-неперервної системи стабілізації напруги із широтно-імпульсною модуляцією під час врахування постійної складової вихідної напруги перетворювача, проведено моделювання роботи системи із синтезованим регулятором.

Ключові слова: *дискретно-неперервні системи, широтно-імпульсна модуляція, синтез регулятора.*

Выполнен синтез нелинейного корректирующего звена для дискретно-непрерывной системы стабилизации напряжения с широтно-импульсной модуляцией при учете постоянной составляющей выходного напряжения преобразователя, проведено моделирование работы системы с синтезированным регулятором.

Ключевые слова*: дискретно-непрерывные системы, широтно-импульсная модуляция, синтез регулятора.*

In the paper the design of nonlinear regulator for discrete-continuous stabilization system with PWM is implemented. The analysis takes into account only the DC component of output voltage of the converter. Simulation of the system with regulator is performed.

Key words*: discrete-continuous system, pulse-width modulation, design of regulator.*

Вступ. У сучасних системах силової електроніки та автоматизованого електропривода широке застосування знаходять імпульсні перетворювачі напруги та автономні інвертори, в яких для регулювання вихідної напруги широко використовують метод широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). У минулому в таких системах використовували ШІМ другого роду, яка досить просто реалізувалась на аналоговій елементній базі. На сьогодні широкого вжитку набули системи з ШІМ першого роду, які простіше реалізуються під час використання цифрової елементної бази.

Аналіз подібних систем часто виконують під час спрощеного представлення імпульсного перетворювача, при цьому нехтують дискретним характером процесу модуляції та враховують лише постійну складову вихідної напруги перетворювача.

Під час аналізу систем з широкою смугою пропускання, або систем з достатньо високими вимогами до точності регулювання вихідного параметра, силовий імпульсний перетворювач неможливо розглядати без урахування дискретного характеру процесу модуляції. В таких системах вихідний сигнал широтно-імпульсного перетворювача (ШІП) можна апроксимувати функціями Уолша, як це зроблено в [1]. У цьому випадку одержуємо багатоконтурну систему з еквівалентною амплітудно-імпульсною модуляцією (АІМ) амплітуд апроксимуючих функцій Уолша, що, у свою чергу, дозволяє виконувати аналіз досліджуваної системи із застосуванням апарата Z-перетворень [6].

Користуючись таким представленням ШІП, у роботах [3; 5] виконано аналіз похибки регулювання для систем з глибокою ШІМ (без обмежень діапазону модуляції) першого роду, а в роботі [2] вирішена задача знаходження оптимальних параметрів регулятора, які дозволяють забезпечити мінімальне значення середньої похибки.

Ця робота продовжує цикл статей з аналітичного розрахунку систем з глибокою ШІМ першого роду під час урахування дискретного характеру процесу модуляції та присвячена проблемі розроблення загального методу синтезу регулятора для таких систем.

Методи і результати. Методику синтезу регулятора розглянемо на прикладі імпульсної системи стабілізації напруги з ШІМ, структура якої наведена на рис. 1, де $U_{ВХ}, U_{ВИХ}$ – сигнал завдання та вихідна напруга системи стабілізації відповідно, ε – похибка регулювання. Сигнал похибки надходить на вхід системи керування (СК), яка формує сигнал

керування ШІП U (значення коефіцієнта заповнення для широтно-модульованого сигналу). Вихідна напруга ШІП $U_{ШІП}$ є напругою живлення для об'єкта керування (ОК).

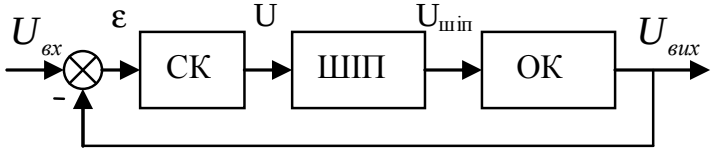


Рис. 1. Імпульсна система стабілізації з ШІМ

Виконавши апроксимацію широтно-модульованих сигналів на виході імпульсного перетворювача $U_{ШІП}$ за допомогою функцій Уолша, отримаємо багатоконтурну модель системи з глибокою ШІМ [1].

У подальшому аналізі враховуватимемо лише постійну складову сигналу $U_{ШІП}$, що формується ШІП. У цьому випадку ШІП представляється послідовним з'єднанням нелінійності типу насичення і фіксатора нульового порядку. Результуюча система з еквівалентною амплітудно-імпульсною модуляцією матиме вигляд, представлений на рис. 2, де ІЕ – синхронно і синфазно працюючі імпульсні елементи, ФНП – фіксатор нульового порядку.

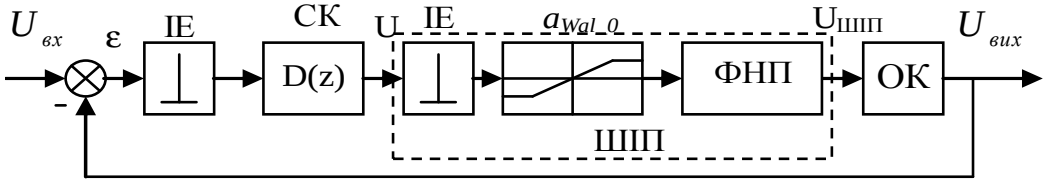


Рис. 2. Нелінійна імпульсна система стабілізації першого роду

Апроксимацію нелінійності a_{Wal_0} проводитимемо за допомогою поліномів Ерміта з урахуванням дисперсії δ сигналу на вході нелінійного елемента та обмежуючись 3-м порядком апроксимуючого поліному. Оскільки початкова нелінійність є непарною функцією, то в загальному випадку апроксимуючий поліном матиме такий вигляд

$$a_{Wal_0}(U) = f(U) = d_1 U + d_3 U^3. \tag{1}$$

Згідно з [7] для різних значень дисперсії δ сигналу на вході нелінійного елемента отримуємо

$$\delta = 1/3:\ a_{Wal_0} = 1{,}12 * U - 0{,}01 * U^3, \tag{2}$$

$$\delta = 1:\ a_{Wal_0} = 0{,}92466 * U - 0{,}080656 * U^3. \tag{3}$$

Результат апроксимації нелінійності a_{Wal_0} представлений на рис. 3.

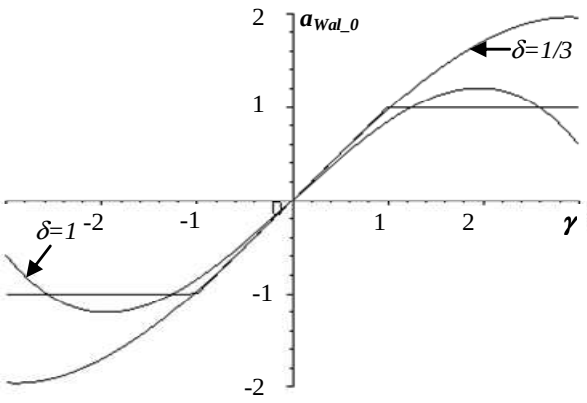


Рис. 3. Амплітудна характеристика нелінійного елемента a_{Wal_0}

Подальший аналіз виконаємо на прикладі об'єкта керування з передавальною функцією

$$W(q)=k_1\frac{\alpha}{q(q+\alpha)}, \tag{4}$$

при наступних числових значеннях параметрів системи: $k_1=1$, $\alpha=0,5$, $T=1c$.

Передавальна функція наведеної неперервної частини матиме вигляд

$$W(q)=k_1\frac{1-e^{-q}}{q}\cdot\frac{\alpha}{q(q+\alpha)}. \tag{5}$$

Оскільки амплітудна характеристика нелінійного елемента містить лінійну та нелінійну складові, то згідно з [7] еквівалентні лінійна та нелінійна передавальні функції розімкненої системи матимуть такий вигляд

$$W_1(z,0)=d_1W(z,0)=d_1Z\{W(q)\}, \tag{6}$$

$$W_3(z,0)=d_3W(z,0)=d_3Z\{W(q)\}. \tag{7}$$

$$W_1(z,0)=\frac{A_1z+A_2}{(z-1)(z+B_1)}. \tag{8}$$

$$W_1(z,0)=1{,}12\frac{0{,}22z+0{,}17}{(z-1)(z+0{,}61)}. \tag{9}$$

Під час синтезу дискретного регулятора для досліджуваної нелінійної імпульсної системи (рис. 2) будемо використовувати математичний апарат багатовимірного Z-перетворення. Використання цього математичного апарата дозволить нам представити нелінійну корегуючу ланку у вигляді усіченого дискретного ряду Вольтерра [4]. Структура та параметри такого регулятора визначаються еквівалентними передавальними функціями вихідної системи (6,7). Використання подібних дискретних корегуючих ланок дозволяє значною мірою компенсувати негативний вплив нелінійностей вихідної системи та значно покращити показники якості регулювання.

Таким чином, застосовуючи багатовимірне Z-перетворення до виразу, який описує нелінійну корегуючу ланку у вигляді дискретного ряду Вольтерра, отримаємо структуру дискретного регулятора (рис. 4, *а*).

$$D(z)=D_1(z)+D_2(z)+...+D_n(z). \tag{10}$$

Згідно з [4] еквівалентні передавальні функції регулятора $D_n(z_1,...,z_n)$ являють собою комбінацію еквівалентних функцій меншого порядку та еквівалентних передавальних функцій неперервної частини вихідної системи. Структури еквівалентних передавальних функцій $D_2(z_1,z_2)$ та $D_3(z_1,z_2,z_3)$ представлені на рис. 5, структури еквівалентних передавальних функцій вищого порядку можна знайти у [4]. Як бачимо з рис. 5, всі еквівалентні передавальні функції можуть бути виражені через лінійну функцію $D_1(z)$. Остання, як зазначається в [4], може бути знайдена за допомогою одного з методів синтезу звичайних лінійних дискретно-неперервних систем [6] за відомою передавальною функцією лініаризованої вихідної системи. Наприклад, передавальну функцію $D_1(z)$ можна синтезувати, виходячи з вимоги мінімальної тривалості перехідного процесу чи за мінімумом сумарної квадратичної помилки.

Враховуючи той факт, що апроксимація нелінійності системи проводилась, обмежуючись 3-м порядком апроксимуючого полінома Эрміта, обмежимось трьома складовими і під час запису корегуючого пристрою у вигляді дискретного ряду Вольтерра (рис. 4, *б*).

З іншого боку, оскільки результат апроксимації є непарною функцією (рис. 3), то $D_2(z_1, z_2) = 0$ та $W_2(z_1, z_2) = 0$. Як результат, маємо спрощення структури еквівалентних передавальних функцій $D_2(z_1, z_2)$ та $D_3(z_1, z_2, z_3)$ (рис. 6).

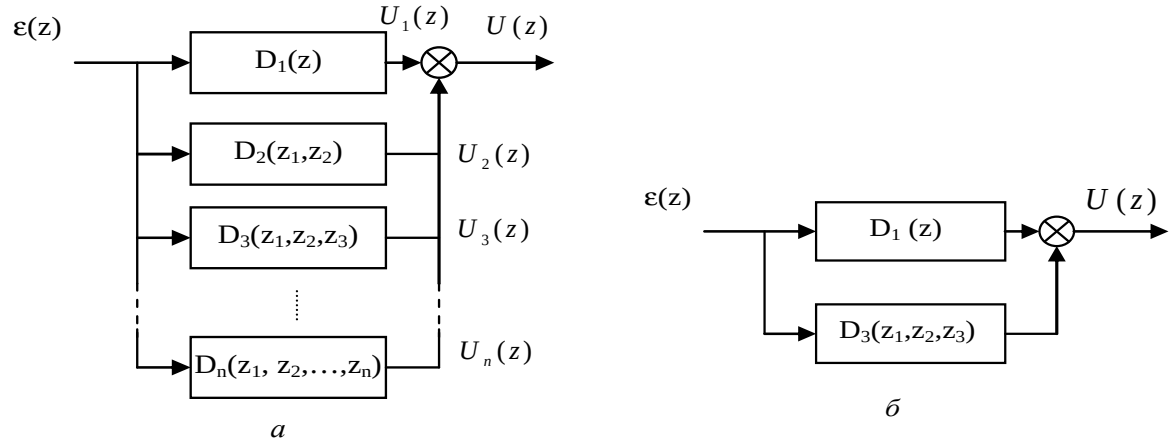


Рис. 4. Структура нелінійного регулятора для загального випадку (а) та досліджуваної нелінійної системи (б)

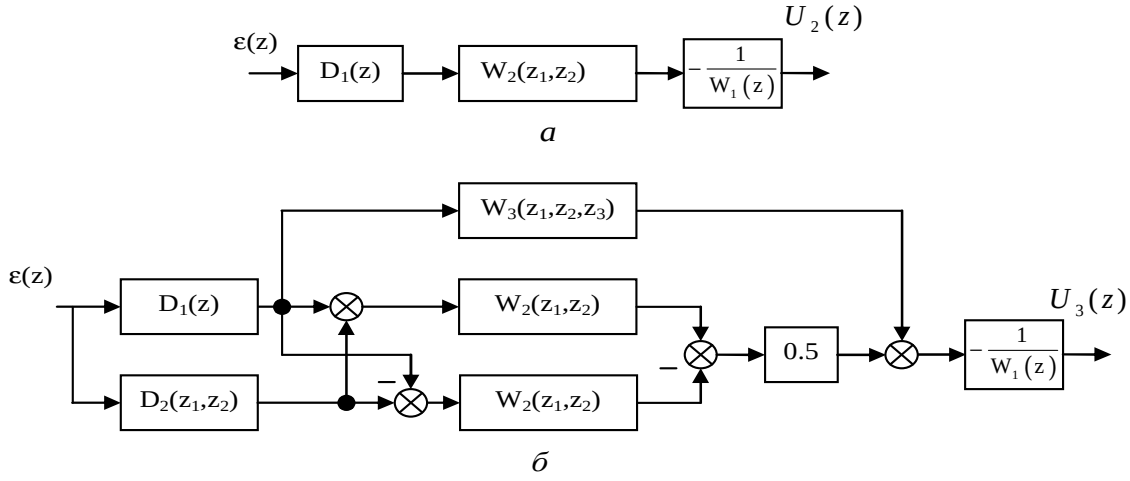


Рис. 5. Структури еквівалентних передавальних функцій $D_2(z_1, z_2)$ (а) та $D_3(z_1, z_2, z_3)$ (б) нелінійного регулятора

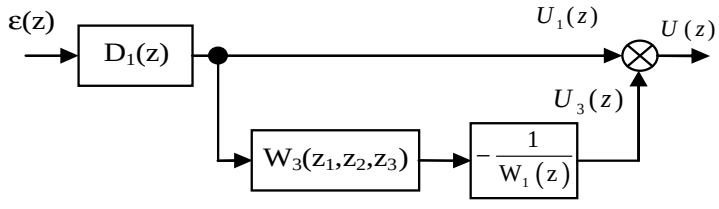


Рис. 6. Результуюча структура нелінійного регулятора досліджуваної системи

Подальший синтез послідовної корегуючої ланки $D_1(z)$ будемо проводити з урахуванням вимоги мінімальної і кінцевої тривалості перехідних процесів у скорегованій системі. Також будемо вимагати від скорегованої системи наявності астатизму першого порядку. В цьому разі у скорегованій системі тривалість перехідного процесу становитиме два такти.

Вираз для еквівалентної лінійної передавальної функції розімкненої системи (8) запишемо у вигляді

$$W_1(z,0)=\frac{A_1z+A_2}{(z-1)(z+B_1)}=\frac{P(z,0)}{Q_1(z,0)}. \quad (11)$$

Тоді, згідно з [6], для зазначених вище вимог отримаємо

$$P(z,0)M_1(z,0)+(z-1)N_1(z,0)=z^2, \quad (12)$$

де

$$M_1(z,0)=a_0,\ N_1(z,0)=b_1z+b_0. \quad (13)$$

Порівнюючи коефіцієнти при однакових ступенях z, отримуємо таку систему рівнянь

$$\begin{cases} b_1=1, \\ b_0-b_1+A_1a_0=0, \\ A_2a_0=b_0. \end{cases} \quad (14)$$

звідки отримуємо значення коефіцієнтів

$$b_1=1,\ a_0=\frac{1}{A_1+A_2}=2,289,\ b_0=\frac{A_2}{A_1+A_2}=0,436, \quad (15)$$

та вирази для $M_1(z,0)$ і $N_1(z,0)$

$$M_1(z,0)=a_0=2,289,\ N_1(z,0)=b_1z+b_0=z+0,436. \quad (16)$$

Виходячи з цього, передавальна функція регулятора матиме такий вигляд

$$D_1(z)=\frac{M_1(z,0)(z+B_1)}{N_1(z,0)}=\frac{a_0(z+B_1)}{b_1z+b_0}=\frac{2,289z+1,369}{z+0,436}. \quad (17)$$

На цьому синтез лінійної корегуючої ланки можна вважати завершеним. Таким чином, на підставі описаної вище послідовності дій, отримана структура нелінійного регулятора (рис. 6) для системи стабілізації з широтно-імпульсною модуляцією під час врахування постійної складової вихідної напруги перетворювача.

Синтез нелінійної корегуючої ланки показаний на прикладі оптимізації імпульсної системи стабілізації за швидкодією (забезпечення мінімальної тривалості перехідного процесу), але запропонований метод має універсальний характер та дозволяє виконати синтез регулятора і за іншими критеріями оптимальності.

Перевірка отриманих результатів проводилась з використанням математичних моделей скорегованої та нескорегованої системи стабілізації з ШІМ. Структура Matlab моделі скорегованої системи стабілізації представлена на рис. 7, а на рис. 8, 9 наведено діаграми вихідної напруги у системі під час подачі на її вхід скачкоподібного сигналу.

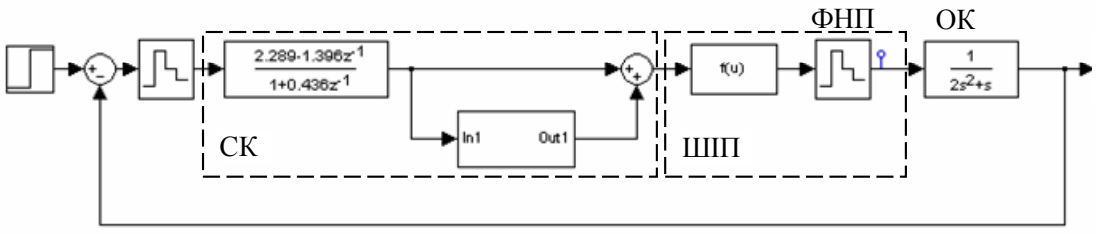


Рис. 7. Matlab модель скорегованої системи стабілізації

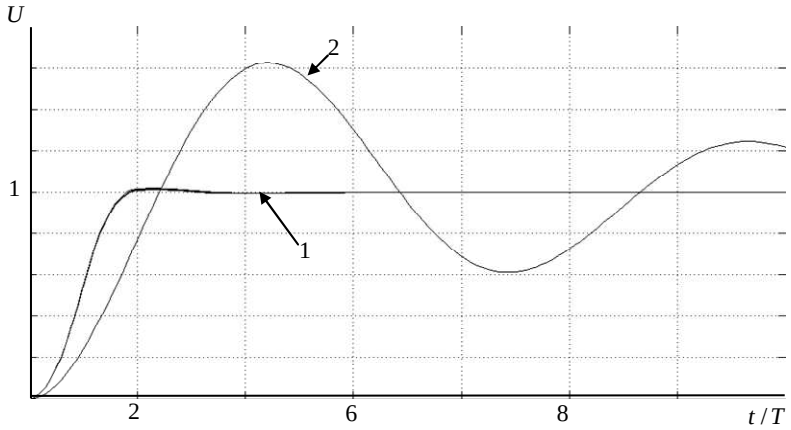


Рис. 8. Діаграми роботи системи стабілізації: 1 – скорегована система; 2 – вихідна система з нелінійністю

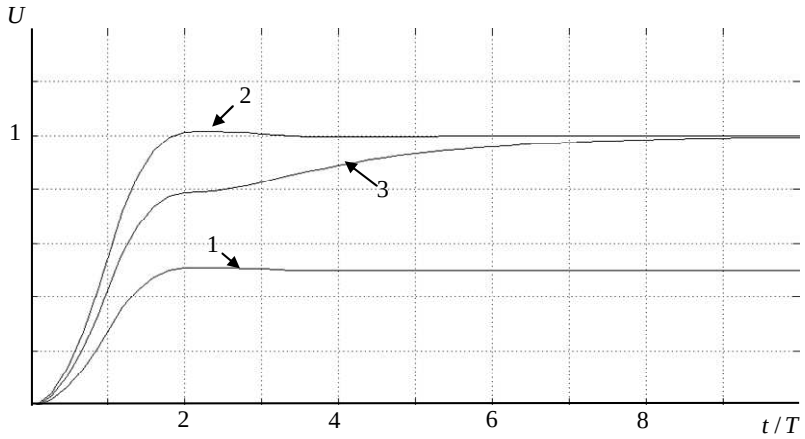


Рис. 9. Діаграми роботи системи стабілізації для різних величин сигналу завдання: 1– вихідна та скорегована система при вхідному збуренні 0,3; вихідна (3) та скорегована (2) система при вхідному збуренні 1

Як бачимо з рис. 8, корекція дозволила значно покращити якість процесу регулювання, а тривалість перехідного процесу в скорегованій системі становить два такти роботи імпульсного елемента.

На рис. 9 для порівняння наведено перехідні процеси у скорегованих системах з вихідною нелінійністю та з нелінійною корегуючою ланкою для різних значень сигналу завдання. Крива 1 (рис. 9) відповідає реакції обох систем на вплив $u_{вх}(t)=0{,}3$. У цьому разі система з вихідною нелінійністю працює в лінійному режимі і перехідні процеси для обох систем співпадають. Під час збільшення сигналу завдання починають проявлятися нелінійні властивості першої системи. Так, криві 2 та 3 (рис. 9) відповідають реакції скорегованих систем з вихідною нелінійністю та з нелінійною коригуючою ланкою відповідно на вплив $u_{вх}(t)=1$. Як бачимо з рис. 9, у системі з нелінійною корегуючою ланкою забезпечується краща якість процесу регулювання вихідної напруги.

Висновки. У роботі запропоновано загальний метод синтезу нелінійної корегуючої ланки для систем стабілізації з широтно-імпульсною модуляцією під час врахування постійної складової вихідної напруги перетворювача. За описаним методом, для розглянутого прикладу імпульсної системи, отримані структура та параметри нелінійного регулятора.

Моделювання роботи скорегованої системи показало, що використання синтезованого нелінійного регулятора дозволяє компенсувати вплив на помилку регулювання нелінійності, що притаманна системі, а також підвищує якість процесу регулювання вихідної напруги.

Список використаних джерел

1. *Денисов А. И.* Вентильные преобразователи в системах точной стабилизации / А. И. Денисов, В. М. Зволинский, Ю. В. Руденко. – К. : Наукова думка, 1995. – 250 с.
2. *Денисов А. И.* Оптимизация системы с глубокой широтно-импульсной модуляцией по минимуму суммарной ошибки / А. И. Денисов, Р. В. Заровский, С. А. Иванец // Технічна електродинаміка. – 2006. – Ч. 7. – С. 81-84.
3. *Денисов Ю. А.* Анализ ошибки системы стабилизации с широтно-импульсной модуляцией при глубоком регулировании / Ю. А. Денисов, Р. В. Заровский // Технічна електродинаміка. – 2005. – № 6. – С. 19-23.
4. *Дискретные* нелинейные системы / А. Д. Аверина, А. Н. Герасимов, С. П. Забродин и др. ; под ред. Ю. И. Топчеева. – М. : Машиностроение, 1982. – 312 с.
5. *Заровський Р. В.* Аналіз похибки регулювання в системі стабілізації високої точності з використанням функціональних рядів Вольтерра-Вінера / Р. В. Заровський, М. Г. Остапов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2007. – № 28. – С. 229-236.
6. *Цыпкин Я. З.* Теория линейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин. – М. : Физматгиз,1963. – 968 с.
7. *Цыпкин Я. З.* Теория нелинейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин, Ю. С. Попков. – М. : Наука, 1973. – 414 с.

УДК 621.316

С.А. Іванець, канд. техн. наук
О.В. Красножон, аспірант
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ “ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ” ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ SMART GRID

Розглянуто основні визначення поняття "інтелектуальна" електрична мережа. Проведено загальний аналіз концепції Smart Grid. Визначено та наведено стислу характеристику основних компонентів та систем, які слід використовувати для її практичної реалізації. Проведено прогнозування основних переваг та недоліків "інтелектуальної" енергетичної системи, реалізованої згідно з цією концепцією.

Ключові слова: *“інтелектуальна” електрична мережа, енергетична система, пристрій FACTS, альтернативні джерела енергії, споживачі, концепція, підсистема, розподілена генерація.*

Рассмотрены основные определения понятия “интеллектуальная” электрическая сеть. Проведён общий анализ концепции Smart Grid. Определены и кратко охарактеризованы основные компоненты и системы, которые следует использовать для её практической реализации. Проведено прогнозирование основных преимуществ и недостатков “интеллектуальной” энергетической системы, реализованной согласно этой концепции.

Ключевые слова: *“интеллектуальная” электрическая сеть, энергетическая система, устройство FACTS, альтернативные источники энергии, потребитель, концепция, подсистема, распределённая генерация.*

The principal definition of "smart" electrical grid concept has been examined. The general analysis of "Smart Grid" conception has been done. The main components and systems which should be used for its practical realization are determined and in brief defined.The prognostication of the main merits and demerits of the "smart" power system, implemented in accordance with this conception, has been done.

Key words: *“smart” electrical grid, energy system, FACTS device, alternative energy sources, consumer, conception, subsystem, distributed generation.*

Вступ. Аналіз сучасного стану електроенергетичної галузі України вказує на гостру необхідність її модернізації та вдосконалення. Ця проблема викликає неабияку зацікавленість у різних наукових колах. Нині існує велика кількість невідкладних проблем та завдань, вирішення яких дозволить модернізувати енергетичну систему країни, вивести її на новий, якісно більш високий рівень, який відповідатиме всім існуючим стандартам та вимогам. Запропоновані та використані раніше підходи та методи побудови електричних мереж не завжди задовольняють сучасні вимоги. У зв’язку з цим сьогодні велика увага приділяється розвитку та вдосконаленню існуючої енергетичної системи України згідно з концепцією “інтелектуальних” електричних мереж Smart Grid.

Концепція “інтелектуальних” електричних мереж вперше була запропонована відносно нещодавно (2005-2006 рр.) у США. Її виникнення зумовлено тим, що існуюча на той момент енергетична система вже не могла повністю забезпечувати швидкий зріст енергоспоживання, одночасне підключення та функціонування різнорідних відновлюваних джерел електроенергії в єдиній електричній мережі, можливість накопичення вже виробленої, але не спожитої електроенергії. Також енергосистема не забезпечувала необхідних показників якості електричної енергії, надійності енергозабезпечення, стабільності функціонування. Слід зазначити, що на необхідність перетворення енергосистеми істотний вплив відіграло стрімке скорочення запасів корисних копалин – джерел електричної енергії, вимоги промислової та екологічної безпеки, створення високоефективних технологій виробництва.

Вперше ідея перетворити електричну мережу на більш "інтелектуальну" одиницю була запропонована у США, оскільки саме ця країна є найбільшим світовим виробником та споживачем електричної енергії. На сьогодні концепція Smart Grid найбільш інтенсивно розвивається в таких країнах, як: Китай, США, Індія, Великобританія, Австралія, Канада, Франція, Німеччина, Росія [1]. Слід зазначити, що головним ініціатором та інвестором робіт з розвитку зазначеної концепції в усіх перелічених країнах світу є виключно держава, хоча, згідно з положеннями концепції, вона дає можливість отримувати значні переваги для споживачів будь-якого масштабу.

Концепція Smart Grid побудови "інтелектуальних" електричних мереж базується на таких головних принципах:

- автоматизація;
- інтеграція;
- контрольованість;
- можливість спостереження.

На жаль, на сьогодні термін "інтелектуальна" електрична мережа ще не набув єдиного загальноприйнятого тлумачення в наукових колах різних країн світу.

Аналіз існуючих визначень поняття "інтелектуальна" електрична мережа. Серед найпоширеніших існуючих визначень можна виділити такі.

Згідно з визначенням, що наводиться Міністерством електричної енергетики США, "інтелектуальна" електрична мережа – це повністю автоматизована система, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та всієї необхідної інформації між енергетичними об’єктами на всій місцевості, де вона розгорнута [2].

У країнах Євросоюзу під цим терміном слід розуміти таку електричну мережу, що задовольняє всі вимоги енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми завдяки скоординованому управлінню та за допомогою двосторонніх комунікацій між елементами електричної мережі – електростанціями, джерелами та акумуляторами електричної енергії та її споживачами [3].

За визначенням NETL (The National Energy Technology Laboratory USA), "інтелектуальна" електрична мережа – це сукупність організаційних змін, нової моделі процесів, рішень у галузі автоматизованих систем управління технологічними процесами та диспетчерського керування в електроенергетиці [4].

Однак, на наш погляд, найбільш загальне та технічно повне визначення зазначеного поняття було сформульовано вченими інституту IEEE (The Institute of Electrotechnic and Electronic Engineers). Так, згідно з їхнім визначенням – це повністю інтегрована саморегульована та самовідновлювана електроенергетична система, що має мережну топологію та включає у себе всі джерела генерації, магістральні та розподільчі мережі та всі види споживачів електроенергії, керування якими здійснюється за допомогою єдиної мережі інформаційно-управляючих пристроїв та систем у реальному масштабі часу [5].

На основі проведеного аналізу наведених визначень, можна зробити висновок, що, по суті, "інтелектуальна" електрична мережа об'єднує у собі не одну, а дві мережі – електричну та інформаційно-керуючу, які тісно взаємодіють між собою та функціонують одночасно. Причому управління та контроль кожного з приладів електричної мережі здійснюється за допомогою необхідних "інтелектуальних" пристроїв, об'єднаних в єдину інформаційно-керуючу мережу [6; 7].

Мета статті. Аналіз наведених визначень поняття "інтелектуальна" електрична мережа вказує на те, що перетворення енергетичної системи будь-якої країни на більш "інтелектуальну" полягає у глибинних змінах багатьох галузей людської діяльності. Зокрема, воно включає розроблення повністю нового апарату регулювання юридичних та економічних відносин між постачальниками та споживачами електричної енергії, створення енергетичних ринків, нових моделей обліку та тарифікації наданих послуг. Виникає необхідність модернізації існуючих та розроблення принципово нових пристроїв та установок на всіх рівнях "інтелектуалізації" енергетичної мережі. Галузь автомобілебудування може бути істотно змінена за рахунок розроблення екологічно чистих видів транспорту – електромобілів (згідно з поширеною нині ідеєю V2G – Vehicle to Grid), які дозволяють знизити рівень забруднення довкілля.

Незважаючи на необхідність внесення такої великої кількість змін, процес перетворення енергетичних систем на більш "інтелектуальні" захоплює щороку все більше й більше країн світу. Наприклад, у Росії офіційно розроблена і виконується загальнонаціональна програма з перетворення енергетичної галузі згідно з цією концепцією [8].

Отже, метою статті є огляд основних положень концепції Smart Grid, розбудови "інтелектуальних" електричних мереж, основних систем технічних та інформаційних засобів, необхідних для практичного впровадження "інтелектуальних" мереж, а також визначення та прогнозування переваг і недоліків втілення цієї концепції з метою можливого подальшого аналізу придатності її використання для модернізації енергетичної системи нашої країни.

Виклад основного матеріалу. Вище зазначалось, що “інтелектуальна” електрична мережа має функціонувати в режимі реального часу, адже це є однією з найголовніших умов її використання. Така можливість забезпечується за рахунок певної організації саме інформаційної мережі, а не електричної. Топологія такої інформаційної мережі наведена нижче на рис. 1. З нього можна побачити, що інформаційна мережа складається з двох рівнів – локального та глобального. Кожен з цих рівнів, якщо потрібно, також може ділитися на підрівні [9].

Локальний рівень представлено інформаційними мережами рівня електричної станції/підстанції. Кожна електрична підстанція має свою внутрішню високошвидкісну локальну обчислювальну мережу (ЛОМ). Головним її завданням є організація двостороннього обміну інформацією між центральним керуючим сервером та всім необхідним обладнанням: пристроями вимірювання (давачами) та виконуючими пристроями – пристроями регулювання, контролю, захисту та ін. Через особливість стану середовища електричної підстанції дуже часто така інформаційна мережа розробляється відповідно до необхідних промислових стандартів. Центральний сервер підстанції виконує зчитування інформації з обладнання, її оброблення та зберігання, обмін даними з мережами глобального рівня, а також формує необхідні впливи для управління електричними приладами підстанції [10].

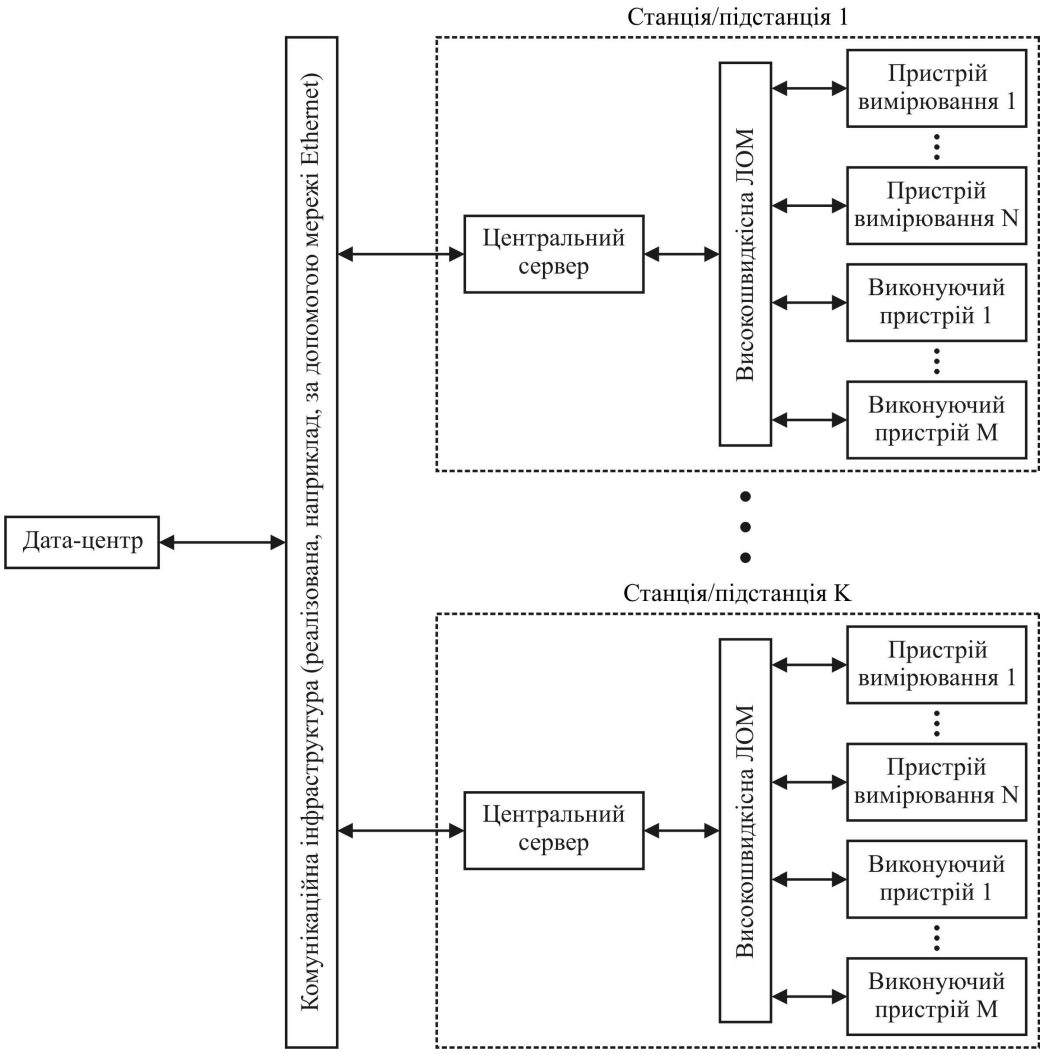


Рис. 1. Топологія інформаційної мережі згідно з концепцією Smart Grid

Глобальний рівень інформаційної мережі здійснює об'єднання керуючих серверів локального рівня (або інших інформаційно-керуючих пристроїв) в єдину високошвидкісну обчислювальну комп'ютерну мережу. Наприклад, їх можна з'єднати в мережу Ethernet відповідної топології за допомогою пристроїв комутації та маршрутизації інформаційних пакетів. Така глобальна мережа підпорядковується центру управління, так званому дата-центру (data-center). Саме він виконує обробку всього наявного обсягу інформації та прийняття необхідних рішень з управління приладами електричної мережі різного рівня залежно від багатьох чинників. Залежно від площі території, на якій необхідно розгорнути інтелектуальну мережу, дата-центри можуть об'єднуватися у центри ще більш високого рівня.

Очевидно, що центр керування, реалізований на кожному з рівнів, повинен мати достатню обчислювальну потужність, пропускну спроможність обчислювальної мережі, резервні обчислювальні потужності та ін. Адже головним завданням будь-якого центру керування є забезпечення безперешкодного функціонування SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) та інших допоміжних програмно-апаратних комплексів, складність яких зростає досить нелінійно залежно від масштабу центру управління [11].

Слід зауважити, що така "сильно розгалужена" структура інформаційної мережі у вигляді "дерева" дозволяє забезпечити можливість масштабування "інтелектуальної" електричної мережі (під час розгортання мережі на великих територіях). Однак це приводить до

значного підвищення часу реакції такої мережі на події та процеси, які протікають усередині неї, що може негативно відбиватися на роботі самої ж мережі. Крім того, така структура може істотно знижувати надійність функціонування електричної мережі [12].

Розглянемо далі основні компоненти та системи, які необхідно використовувати під час побудови "інтелектуальних" електричних мереж.

Практична реалізація концепції Smart Grid. Нижче на рис. 2 зображено топологію розподіленої "інтелектуальної" електроенергетичної системи масштабу міста згідно з концепцією Smart Grid. Неважко помітити, що така енергосистема істотно відрізняється від тих, що існують нині.

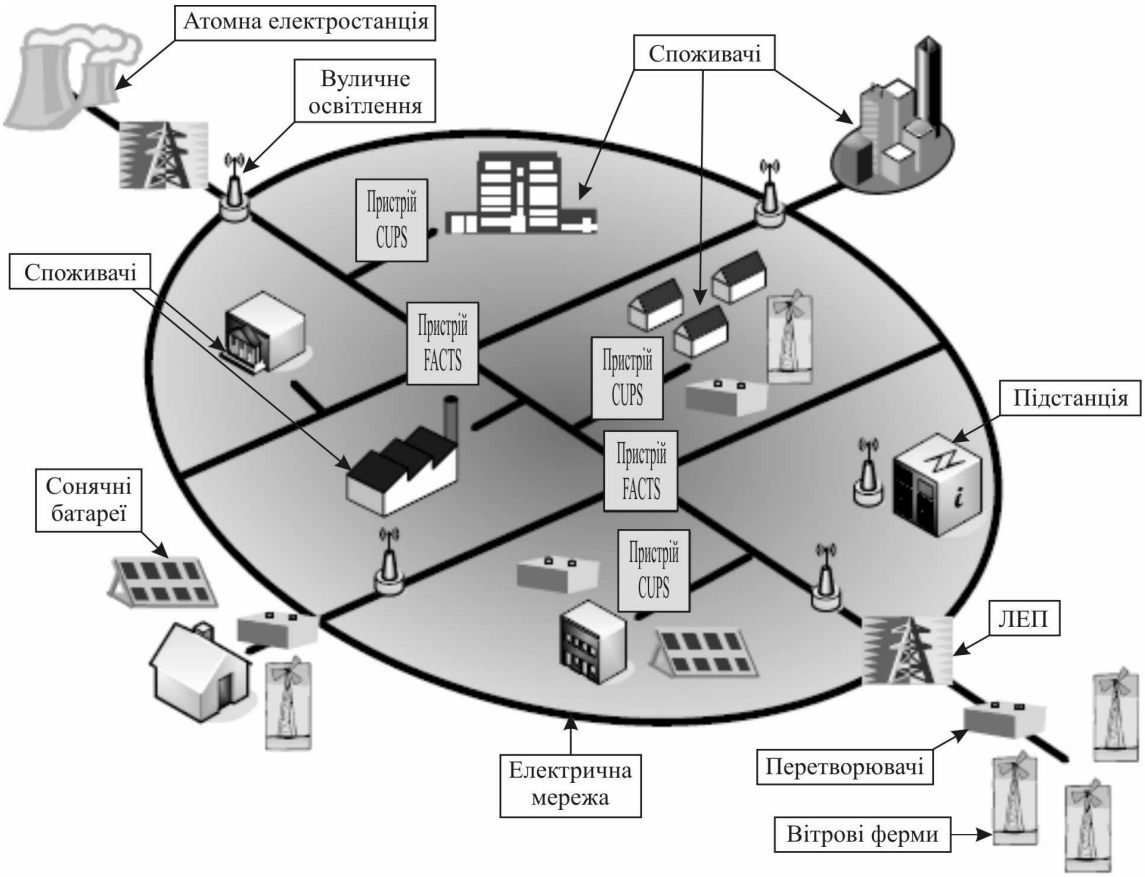


Рис. 2. Топологія "інтелектуальної" енергетичної системи масштабу міста

Згідно з підходами, що існували до появи концепції Smart Grid, будь-яку електричну мережу (та енергосистему в цілому) розробляли таким чином, щоб вона була зосередженою та одноранговою. По суті, це означало, що в такій мережі існує лише 2 великих класи пристроїв – джерела електричної енергії (потужні електростанції з різним типом генерації – теплові, гідроакумулюючі, атомні) та споживачі електричної енергії різного масштабу. Сама ж електрична енергія в таких мережах передавалась лише від джерел до споживачів. Причому одне джерело, як правило, постачало енергію декільком споживачам. Всі джерела електроенергії об’єднуються в єдину мережу за допомогою необхідних пристроїв узгодження.

Такі електричні мережі характеризуються багатьма істотними недоліками, які стали все більше проявлятися останнім часом. Ось лише деякі з них [13]:

– стан споживача електричної енергії, а також процеси, що протікають у ньому, є маловідомими для джерела, що призводить до нестабільної роботи та виникнення різних аварійних ситуацій;

– відсутність систематичного контролю в роботі електричної мережі для своєчасного виявлення перебоїв та відмов обладнання, обривів ліній електропередач;

– висока собівартість електричної енергії через недостатню ефективність її генерації та передачі;

– відсутність механізмів накопичення інформації про час та обсяги споживання для раціоналізації процесу споживання та зниження навантаження на мережу живлення (що є особливо критичним у часи пікового споживання).

На відміну від викладеного вище, топологія "інтелектуальної" мережі, зображеної на рис. 2, дозволяє інтегрувати в єдину мережу відновлювані джерела електричної енергії різної потужності, а також велику кількість споживачів, що мають різний характер навантаження (індуктивне, активне, ємнісне) [14].

Таким чином, найголовніша проблема практичної реалізації "інтелектуальної" енергетичної системи з вказаною топологією полягає у розробленні та підключенні обладнання, яке б дозволяло підключати до електричної мережі будь-які пасивні та активні компоненти, узгоджувати та контролювати режими їх роботи завдяки обробці великого обсягу інформації про стан функціонування пристроїв у режимі реального часу [15].

Для вирішення цієї проблеми використовуються такі системи:

– FACTS – Flexible Alternating Current Systems – "гнучкі системи передачі змінного струму" (в російськомовній літературі дуже часто вживається термін "гнучкі лінії передачі змінного струму");

– CUPS – Custom Power Systems – енергетичні системи з можливістю налаштування під потреби споживача;

– AS – Ancillary Services – допоміжні підсистеми.

Головною метою використання допоміжних підсистем є забезпечення стабільності, ефективності та надійності "інтелектуальної" електричної мережі в цілому, запобігання виникненню можливих перебоїв та аварійних ситуацій, акумулювання виробленої електричної енергії, підвищення її якості. Саме ці підсистеми знаходяться під безпосереднім управлінням оператора мережі. Серед допоміжних підсистем можна виділити такі:

– DG – Distributed Generation – підсистема розподіленої генерації електричної енергії;

– PFC – Power Flow Control – підсистема управління потоком потужності;

– ESS – Energy Storage System – підсистема акумулювання електричної енергії.

Розглянемо більше детально кожну із наведених систем та підсистем.

Гнучкі системи передачі змінного струму. Системи FACTS використовуються, в основному, для підвищення якісних та кількісних показників роботи ЛЕП (ліній електропередачі). По суті, вони являють собою сучасні потужні мікропроцесорні підсистеми, що здійснюють управління приладами силової електроніки, якими обладнуються ЛЕП. Мікропроцесорні підсистеми можуть одночасно підключатися і до інформаційної мережі з метою забезпечення оператора мережі всією необхідною інформацією в режимі реального часу [16].

Нижче на рис. 3 представлено узагальнену структуру пристроїв системи FACTS. Такий пристрій складається зі: статичного джерела реактивної потужності (як ємнісного, так і індуктивного характеру), схеми вимірювання електричних параметрів (підключається безпосередньо до ЛЕП) та системи управління. З рис. 3 очевидно, що обмін реактивною потужністю між таким пристроєм та енергосистемою є двостороннім [11].

Пристрій FACTS може підключатися до ЛЕП практично у будь-якому місці, але частіше за все його підключають до однієї із фаз трансформатора підстанції. Завданням схеми вимірювання електричних параметрів є визначення характеру навантаження в лінії та його величини. Причому такі вимірювання здійснюються через дуже короткі проміжки часу, оскільки режим роботи ЛЕП може змінюватися дуже швидко. Залежно від результатів вимірювання система управління комутує до ЛЕП джерело реактивної потужності протилежного характеру (наприклад, якщо характер навантаження лінії ак-

тивно-ємнісний, то до неї слід підключити джерело реактивної потужності тієї ж величини, але індуктивного характеру) [17].

Таким чином, система управління вирішує завдання комутації джерела реактивної потужності необхідного характеру та номіналу і відстеження перехідних процесів, що протікають у ЛЕП. Як алгоритми функціонування таких систем можуть використовуватися, наприклад, генетичні алгоритми, оскільки вони дозволяють відшукати оптимум (мінімум або максимум) необхідної величини для функції багатьох змінних (параметрів, що описують стан електричної мережі) [18].

Як альтернативні алгоритми функціонування можуть також виступати алгоритми "нечіткої" логіки (fuzzy logic), які до того ж можуть виконуватися за допомогою штучних нейронних мереж, що дозволить спростити їх налаштування та підвищити швидкість виконання [19].

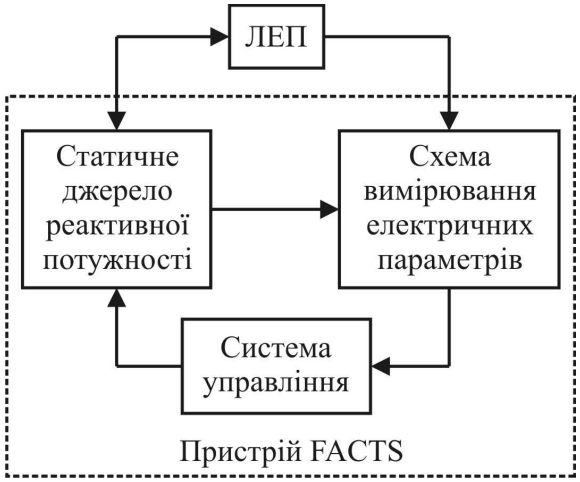


Рис. 3. Узагальнена структура пристроїв системи FACTS

Використання приладів FACTS дозволяє перетворити звичайні ЛЕП із пасивних приладів передачі електроенергії в активні, тобто значно підвищити ступінь їх керованості. В такому випадку одночасно забезпечується не тільки передача електричної енергії, а й регулювання режимів роботи ЛЕП – регулювання рівня напруги, коректування коефіцієнта потужності, компенсація реактивної потужності, регулювання пропускної спроможності лінії в режимі реального часу.

Як відомо, реактивна потужність – це така потужність, що споживається реактивними елементами електричних кіл змінного струму (індуктивностями та ємностями), вона не виконує ніякої корисної роботи і лише циркулює між реактивними елементами, тому очевидно, що зниження обсягів циркуляції реактивної потужності через ЛЕП дозволить підвищити їх пропускну спроможність та знизити втрати електричної енергії при її передачі через ЛЕП.

Результати практичного впровадження пристроїв FACTS в існуючі електричні мережі вказують на можливість підвищення пропускної спроможності ЛЕП приблизно на 20 % та зниження втрат електричної енергії при передачі майже на 40 % [13].

Енергетичні системи з можливістю налаштування. Ідея створення енергетичних систем з можливістю налаштування під потреби споживача виникла внаслідок спроби вирішення проблем низької якості енергопостачання та вирівнювання "піків" енергоспоживання, що виникають у певний час протягом доби.

У складі "інтелектуальної" електричної мережі ці системи тісно взаємодіють з FACTS та допоміжними підсистемами. Їх найголовніше завдання – управління навантаженням: саме вони здійснюють автоматичне включення-відключення споживачів від

електричної мережі, наприклад, під час перевантаження мережі, чи у випадку виникнення аварійних ситуацій.

По суті, енергетична система з можливістю налаштування являє собою об'єднання за допомогою мережі необхідної кількості перетворювачів електричної енергії (так званих інверторів), мережних фільтрів, пристроїв обліку (так званих "інтелектуальних" лічильників) та приладів керування. Будь-який інвертор може працювати в одному з доступних режимів, вибір якого здійснюється за результатами аналізу поточного стану електричної мережі з урахуванням налаштувань конкретного споживача. "Інтелектуальний" лічильник виконує функції вимірювання та контролю обсягу виробленої та спожитої електричної енергії, підрахунку вартості спожитої енергії згідно з вибраним користувачем тарифним планом (вартість споживання електроенергії залежить від часу доби), а також візуалізацію цих даних для користувача, обмін ними з постачальником послуг (енергетичною компанією), накопичення обсягу інформації з метою довготривалого планування.

Додатковими функціями, що можуть виконуватися такими системами, є перетворення форми напруги та/або струму, що надходить із зовнішньої мережі живлення або від джерел розподіленої генерації, оскільки вона може істотно спотворюватися, що є вкрай небажаним явищем під час підключення навантаження, чутливого до збурень різного характеру [20].

На рис. 4 зображено узагальнену структуру енергетичної системи з можливістю налаштування для управління енергоспоживанням помешкання. Таке управління здійснюється за рахунок комутації перемикачів S1 та S2. Згідно з концепцією Smart Grid, споживач може отримувати електричну енергію від мережі живлення (під час замикання S1 та розмикання S2), від джерел розподіленої генерації (під час замикання S2 та розмикання S1). Тобто використання таких систем дозволяє істотно заощаджувати кошти споживачам будь-якого рівня: за наявності джерел розподіленої генерації (наприклад, сонячних батарей або вітрових генераторів) енергетичні потреби споживача можуть повністю або частково задовольнятися енергією від цих джерел (що дозволяє знизити навантаження на основну мережу), у випадку ж наявності надлишку енергії її можна накопичувати у спеціальних акумуляторах або навіть повертати до мережі (продавати). У той же час за несприятливих погодних та інших умов споживач не залишиться без електроенергії [21].

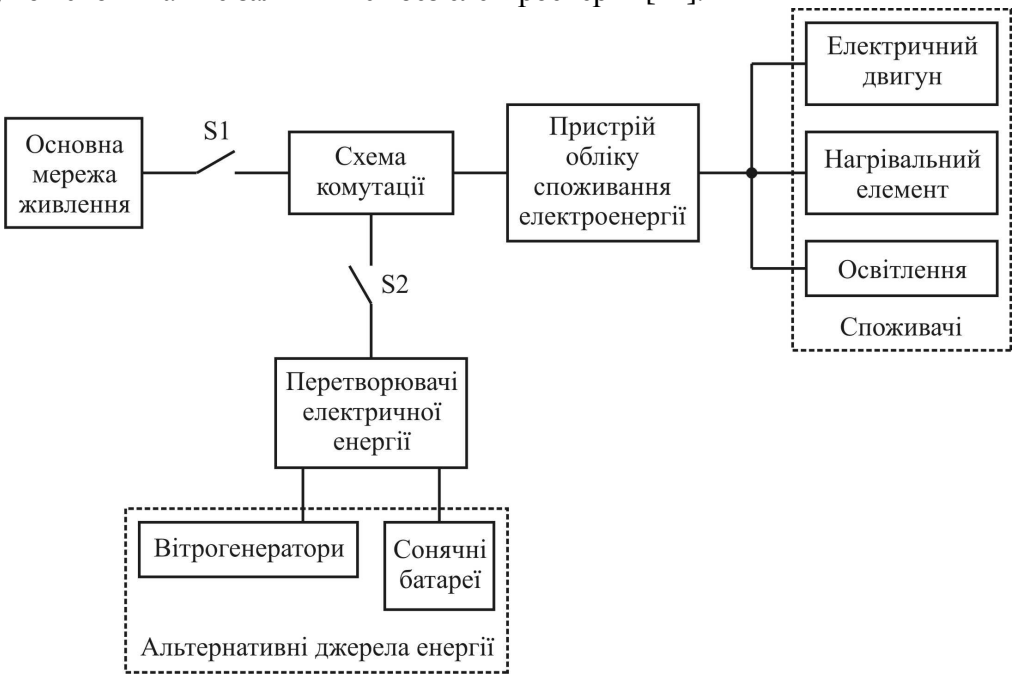


Рис. 4. Узагальнена структура енергетичної системи з можливістю налаштування

Розподілена генерація електричної енергії. Узагальнену структуру установки розподіленої генерації електричної енергії зображено на рис. 5.

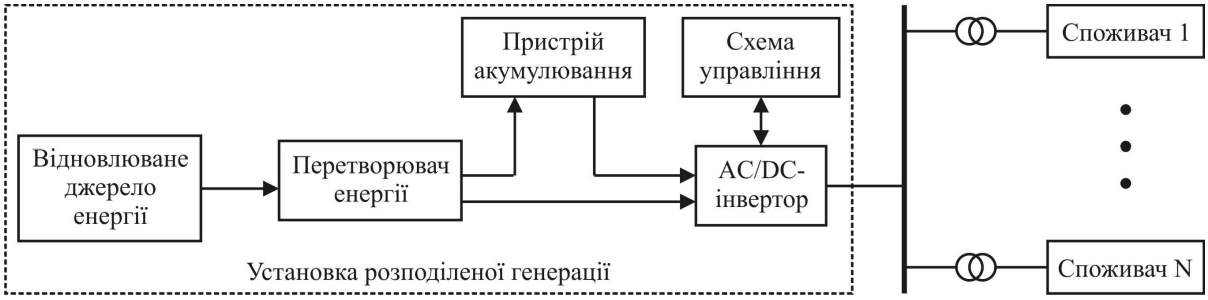


Рис. 5. Узагальнена структура установки розподіленої генерації

До складу такої установки входять: відновлюване джерело енергії, перетворювач енергії джерела в енергію необхідного виду або форми, пристрій акумулювання електричної енергії, перетворювач постійної напруги у змінну, "інтелектуальна" схема управління перетворювачем. Споживачі електроенергії можуть підключатися до енергосистеми за допомогою пристроїв узгодження, наприклад, трансформаторів.

Як відновлювані джерела енергії можуть виступати вітрові електростанції (вітрові ферми), сонячні батареї, гідроелектростанції, геотермальні джерела та ін. Після здійснення перетворення енергії джерела до необхідного виду (наприклад, з механічної в електричну) або форми (під час використання сонячних батарей), її можна або накопичувати у спеціальних пристроях акумуляції, або передавати в електричну мережу.

Оскільки існуючі у світі енергетичні системи працюють саме на змінному струмі, то виникає необхідність використання перетворювачів постійного струму у змінний (так званих DC/AC-інверторів) [22]. Управління роботою такого перетворювача здійснюється відповідною схемою, що входить до складу енергетичних систем з можливістю налаштування (їх було розглянуто вище).

Із сказаного вище слід зауважити, що:

– розміщення джерел розподіленої генерації якомога ближче до споживачів дозволить зменшити втрати електричної енергії під час передачі [23];

– відновлювані джерела енергії все ж істотно програють стаціонарним електростанціям за обсягами генерації електроенергії, її якості та стабільності генерації;

– використання джерел розподіленої генерації дозволяє знизити навантаження на електричну мережу та заощадити використання горючих корисних копалин.

Слід зазначити, що істотним недоліком розглянутої установки розподіленої генерації є значні втрати енергії, що відбуваються у процесі її перетворень [24].

Підсистема акумулювання електричної енергії. Підсистеми акумулювання електричної енергії відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності роботи всієї енергетичної системи, адже вони дозволяють накопичувати вже вироблену електроенергію з метою подальшого її використання, підвищуючи при цьому ефективність використання корисних копалин та вирівнюючи піки навантаження на енергосистему [25]. Класичний приклад такої підсистеми – гідроакумулююча електростанція (ГАЕС).

Однак, згідно з концепцією Smart Grid, з метою акумуляції електроенергії можуть використовуватися більш сучасні та ефективні методи. Наприклад, для цього можна використовувати підземні шахти та пустоти. Коли загальний рівень енергоспоживання низький, електричний компресор стискає та нагнітає повітря у підземну шахту. У часи пікового споживання компресор вимикається, а розігріте повітря піднімається на поверхню, де у спеціальному теплообміннику нагріває воду до агрегатного стану пари, яка згодом крутить лопаті турбіни генератора.

Інший принцип акумуляції електроенергії базується на здатності деяких матеріалів до надпровідності. Для такого принципу акумуляції використовується котушка індуктивності, обмотка якої виготовлена з надпровідного матеріалу, а також кріостат – холодильник (оскільки в більшості матеріалів надпровідність проявляється при істотно низьких температурах).

Слід зауважити, що кожний із принципів акумуляції має свої суттєві недоліки:

– необхідність відчуження великих земельних площ, будівництво гребель та водосховищ на річках (під час використання ГАЕС);

– суттєве теплове забруднення навколишнього середовища;

– відносно низька потужність надпровідників (1 МВт протягом 3 секунд) порівняно з установками інших принципів акумуляції, а також складність виготовлення кріостатів та висока вартість надпровідних матеріалів.

Висновки. Нині концепція Smart Grid ще повністю не втілена в жодній з країн світу. Однак навіть досвід її часткового впровадження дозволяє зробити прогнози стосовно того, які переваги та недоліки вона може мати, а також зробити економічне оцінювання придатності використання ідей цієї концепції під час вдосконалення енергетичної системи нашої країни. Беручи до уваги викладений вище матеріал, можна виділити такі переваги:

– скорочення матеріальних витрат на побудову нових електростанцій за допомогою істотного підвищення ефективності функціонування вже існуючих;

– скорочення матеріальних витрат на технічне обслуговування та підтримку існуючих електричних мереж;

– скорочення часу простою в роботі електричної мережі після виникнення аварійних ситуацій завдяки здатності обладнання до повного або часткового самовідновлення;

– підвищення загальної надійності функціонування електричної мережі за рахунок підвищення її стійкості до збурень різного роду, наприклад, до коливань напруги, навантаження та ін.;

– зниження втрат електричної енергії в ЛЕП, а також збільшення обсягів її транзиту без побудови нових об'єктів інфраструктури електричної мережі завдяки використанню пристроїв FACTS;

– забезпечення більш рівномірного розподілення навантаження на електростанції (особливо на час пікового споживання електричної енергії) за рахунок комутації пристроїв акумуляції та завдяки використанню установок розподіленої генерації;

– зниження негативного впливу роботи електричних мереж на екологічний стан довкілля;

– сприяння розвитку та поширенню технологій екологічно чистого транспорту – електромобілів;

– сприяння розвитку та поширенню технологій "розумного" помешкання, "розумного" міста та ін.;

– зниження собівартості генерації та передачі електричної енергії для кінцевого споживача будь-якого масштабу;

– забезпечення можливості збору якомога більшої кількості інформації про стан роботи будь-якого вузла електричної мережі в режимі реального часу для здійснення більш гнучкого контролю та управління всією електроенергетичною системою;

– виявлення та запобігання псуванню мережного обладнання та крадіжки електричної енергії за допомогою моніторингу роботи мережі в реальному масштабі часу.

Однак не слід забувати, що втілення концепції Smart Grid також може мати зазначені нижче суттєві недоліки:

– істотне (близько 30 %) підвищення загального рівня споживання електричної енергії, спричинене необхідністю застосування великої кількості додаткового "розумного" обладнання (приладів управління, контролю, збору, збереження, обробки, передачі даних та ін.);

– неможливість забезпечення повного захисту "інтелектуальної" електричної мережі від зазіхань з боку зловмисників у зв'язку з неможливістю забезпечення абсолютного захисту даних, які передаються через інформаційну мережу (яка навіть за умов використання існуючих протоколів кодування та шифрування все одно не є безпечною);

– втрати електричної енергії у випадку генерації її за допомогою використання відновлюваних джерел енергії через необхідність здійснення різних перетворень енергії;

– можливість появи нестабільності у роботі всієї енергосистеми, що викликана зниженням обсягів електричної енергії, що генерується відновлюваними джерелами, через несприятливі погодні умови;

– необхідність значних матеріальних витрат для розвитку вказаної концепції в Україні (наприклад, приблизна вартість закупівлі силового обладнання для електричної мережі без збільшення обсягів генерації енергії становить 500 млн доларів) [26].

Список використаних джерел

1. *Smart Power Grids* – Talking about a Revolution. IEEE Emerging Technology Portal, 2009.

2. *«Grids 2030»*. A National Vision for Electricity's Second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.

3. *European* Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future», European Communities, 2006.

4. *The* National Energy Technology Laboratory: «A vision for the Modern Grid», March 2007.

5. *Office* of Electricity Delivery & Energy Reliability [Electronic resource]. – Access mode : http://energy.gov.

6. *News* and analysis for the modernization and automation of electric power [Electronic resource]. – Access mode : http://www.smartgridnews.com.

7. *Management* and Control of Domestic Smart Grid Technology / Moldernik A., Bakker V., Bosman M. G. C., Hurink J. L., Smit C. G. M. // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 375-381.

8. *Гуревич В. И.* Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? / В. И. Гуревич // Энергорынок. – 2010. – № 6. – С. 62-66.

9. *Anjan Bose.* Smart transmission grid applications and their supporting infrastructure. – Washington State University. – 18 p.

10. *Kenneth P.* Birman, Lakshmi Ganesh, Robert van Renesse. Running Smart Grid Control Software on Cloud Computing Architectures. – 27 p.

11. *Забезпечення* надійності функціонування та стійкої роботи інтелектуальних енергетичних систем / С. П. Денисюк, П. Й. Тарасевич, О. В. Сподинський та ін. // Праці ІЕД НАНУ. – 2010. – № 27. – С. 27-33.

12. *Melike Erol-Kantarci,* Hussein T. Mouftah. Demand Management and wireless Sensor Networks in the Smart Grid // Energy management systems. – 22 p.

13. *Стогній Б. С.* Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44-50.

14. *The* European Technology Platform for Electricity Networks of the Future [Electronic resource]. – Access mode : http://www.smartgrids.eu.

15. *Khosrow Moslehi.* Smart Grid – A Reliability Perspective / Moslehi Khosrow, Kumar Ranjit // Innovative Smart Grid Technologies. – 2010. – № 2. – P. 375-381.

16. *Haibo He.* Toward a Smart Grid: Integration of computational intelligence into Power Grid / He Haibo // Neural Networks. – 2010. – № 1. – P. 1-6.

17. *Dapeng Wu.* Fault-Tolerant and Scalable Key Management for Smart Grid / Wu Dapeng, Zhou Chi // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 375-381.

18. *Ramaswamy P. C.* Relevance of voltage control, grid reconfiguration and adaptive protection in smart grids and genetic algorithm as an optimization tool in achieving their control objectives / P. C. Ramaswamy, G. Deconick // Networking, Sensing and Control. – 2011. – № 1. – P. 26-31.

19. *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

20. *Metke A. R.* Security Technology for Smart Grid Networks / A. R. Metke, R. L. Ekl // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 1. – P. 99-107.

21. *Yanmei Li.* The Fuzzy Neural Network Model of Smart Grid Risk Evaluation Based on Bayes / Li Yanmei, Wang Jingmmin, Li Shuangtao // Journal of Computers. – 2011. – № 1. – P. 90-97.

22. *Erol-Kantarci M.* Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid / M. Erol-Kantarci, H. T. Mouftah // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 314-325.

23. *Ковальчук О. А.* Оптимізація схем приєднання розосереджених джерел електроенергії в локальній електричній системі / О. А. Ковальчук, В. В. Кулик, О. Б. Буракін // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 27-28.

24. *Security* Technology for Smart Grid Networks / A. Moldernik, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, G. J. M. Smit // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 109-119.

25. *Raju A. D. J.* Recurrent neural network for faulty data identification in smart grid / A. D. J. Raju // Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering. – 2011. – № 1. – P. 303-308.

26. *Жуйков В. Я.* Силовая электроника в смарт-сетях / В. Я. Жуйков // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 49-50.

УДК 621.3.05

А. Л. Приступа, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БЕЗКОНТАКТНОЇ ПІДЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРІВ ІМПЛАНТОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕСЛІВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ

Наведено результати експериментальних досліджень теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів. Показано, що відхилення результатів математичного моделювання від експериментальних не перевищує 5 % у робочому діапазоні. Виділено напрями подальших досліджень щодо створення ефективних систем безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.

Ключові слова: *бездротова передача енергії, підзарядка акумулятора, імплантовані електроприлади.*

Приведены результаты экспериментальных исследований тесловских процессов при беспроводной передаче энергии для подзарядки аккумуляторов имплантируемых электроприборов. Показано, что отклонение результатов математического моделирования от экспериментальных не превышает 5 % в рабочем диапазоне. Выделены направления дальнейших исследований для создания эффективных систем бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантируемых электроприборов.

Ключевые слова: *беспроводная передача энергии, подзарядка аккумулятора, имплантируемые электроприборы.*

The results of experimental researches of Tesla processes at wireless transmission of energy to recharge the batteries of implantable electrical appliances. It is shown that the deviation of the results of mathematical modeling from experimental does not exceed 5 % of the operating range. Identified areas for further research to establish effective contactless recharging the batteries of implantable electrical appliances.

Key words: *wireless transmission of energy, battery recharge, implantable electrical appliances.*

Для перевірки справедливості теорії теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії, коли відстань, на яку здійснюється передача енергії, має один порядок з відстанню між передавальними антенами та можливості використання таких схем для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів, було проведено декілька експериментів. Експериментальна установка для зняття відповідних характеристик наведена на

рис. 1. Детальний опис експериментальної установки представлено в [1], але стосовно дослідів щодо бездротової передачі енергії для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів установка має такі особливості.

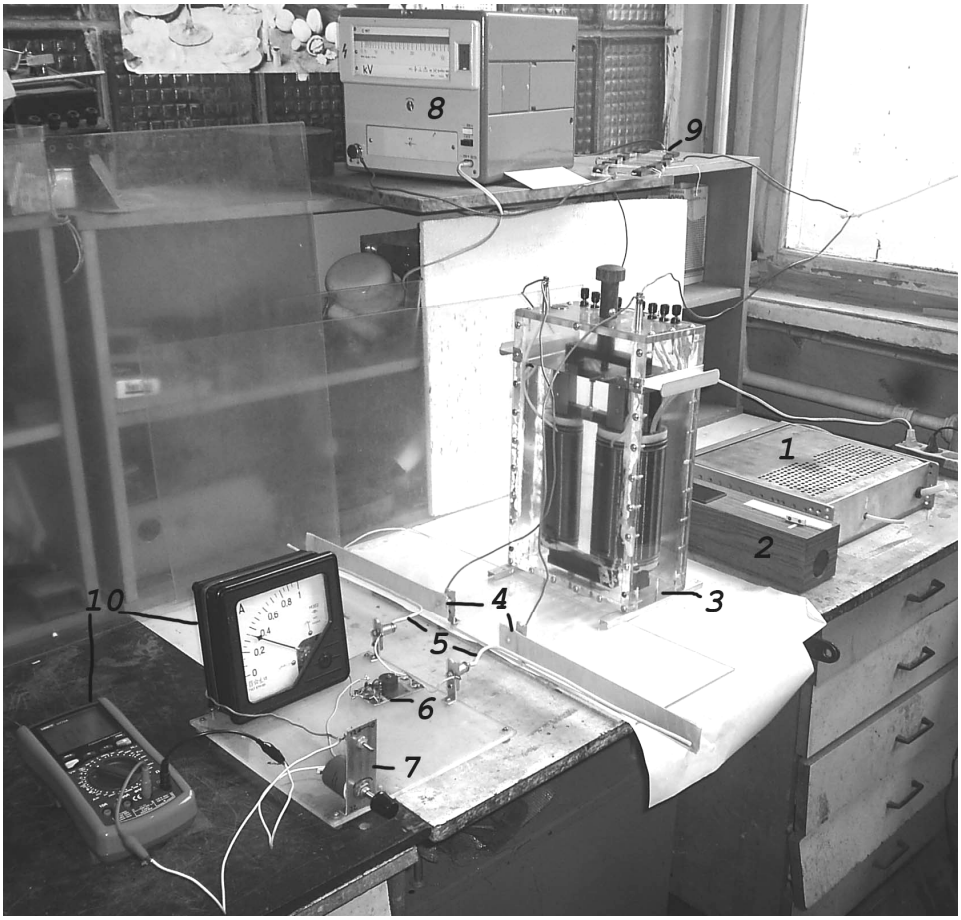


Рис. 1. Експериментальна установка для зняття характеристик теслівських процесів при безконтактній підзарядці акумуляторів імплантованих електроприладів:
1 – високочастотний інвертор, 2 – резонансний дросель, 3 – високочастотний трансформатор, 4 – передавальні антени, 5 – приймальні антени, 6 – блок випрямлення та узгодження, 7 – навантаження, 8 – кіловольтметр, 9 – випрямляч, 10 – вимірювальні прилади для контролю параметрів навантаження

Як передавальні антени використовувались стрічкові провідники. Використання стрічкових передавальних антен, на відміну від дротових, дозволяє збільшити часткові ємності між передавальними та приймальними антенами, а отже, і струм навантаження. Крім того, використання як передавальних антен стрічкових провідників поліпшує взаємне позиціонування передавальних антен відносно приймальних, зменшуючи тим самим розбіжність між розрахунковими та експериментальними значеннями параметрів процесу передачі енергії. В експерименті передавальні антени були ізольовані від приймальних антен шаром поліетилену. Однак для подальших досліджень цього способу підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів (бажано за участю представників медицини та охорони здоров'я) необхідно приділяти особливу увагу міцності ізоляції антен, тому що під час проведення експериментів спостерігався пробій ізоляції під час наближення антен на неприпустимо малу відстань.

Як приймальні антени використовувалися дротові провідники. Використання дротових приймальних антен обумовлено тим, що при підзарядці акумулятора імплантованого електроприладу ці антени разом з іншими елементами, що утворюють приймальну частину, вшиваються під шкіру людини. Чим менше розміри всієї імплантованої частини, тим мен-

ше виникне проблем з адаптацією організму до імплантату. Відповідно до вимоги мініатюризації накладаються й на інші елементи приймального блока. Однак при мініатюризації складових елементів імплантованого блоку необхідно враховувати й функціональні особливості елементів, їх здатність забезпечувати необхідні для ефективної підзарядки акумулятора параметри. У проведених експериментах як матеріал для приймальних антен були використані звичайні алюмінієві провідники з полівінілхлоридною ізоляцією як найбільш доступні. На фізику процесу бездротової передачі енергії за допомогою теслівських процесів матеріал антен суттєво не впливає, але в подальших дослідженнях питанню вибору матеріалу антен та їх ізоляції необхідно приділяти значну увагу.

Окремим питанням, що потребує більш ретельного вивчення, є підбір такого ізоляційного матеріалу, який у випадку імплантації приймальних антен під шкіру людини буде екологічно безпечним, і в той же час здатним витримувати значні напруги, що виникають під час роботи пристрою.

Інші частини приймального блока (узгоджуючий високочастотний трансформатор, блок випрямлення, стабілізації й керування) повинні розташовуватися або в корпусі імплантованого електроприладу, або в окремому корпусі, виконаному з екологічно безпечного для організму людини матеріалу. Який з варіантів буде найбільш прийнятний, повинні показати подальші дослідження.

Вимоги екологічної безпеки для організму людини повинні накладатися й на ізоляцію з'єднувальних проводів імплантованого приймального блока.

Як відзначалося в [3; 4], використання теслівських процесів для бездротової підзарядки акумуляторів (одержання струму навантаження, достатнього для ефективного процесу зарядки акумулятора) можливе тільки на невеликих відстанях між антенами, коли ці відстані не перевищують довжини антен. Через об'єктивні обмеження (товщина ізоляції антен, глибина імплантації приймальних антен тощо) оптимальної відстані між передавальними й приймальними антенами при такого роду передачі енергії не завжди вдається домогтися. Незважаючи на це, при певних параметрах джерела та навантаження процес безконтактної підзарядки за допомогою теслівських процесів є досить ефективним. На рис. 2 наведені експериментальні залежності зміни струму зарядки акумулятора від відстані між передавальними та приймальними антенами й відповідні теоретичні криві струму, побудовані відповідно до математичних моделей, що обґрунтовано в [1; 3; 4].

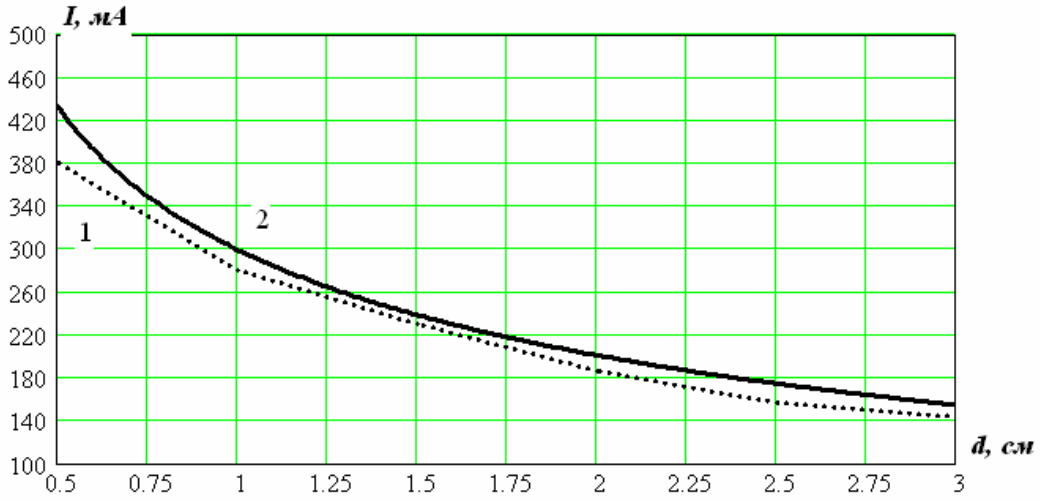


Рис. 2. Зміна струму навантаження від відстані між передавальними й приймальними антенами: 1 – експериментальна крива струму; 2 – теоретична крива струму

Експериментальні характеристики були отримані для таких вихідних даних: напруга інвертора 150 В, величина резонансної індуктивності 250 мкГн, відстань між прийма-

льними антенами 13 см, довжина передавальних (приймальних) антен 30 см, радіус проводу антен 1 мм, опір навантаження 22 Ом.

Як видно з рис. 2, результати експерименту дають гарний збіг з теоретично отриманими характеристиками, що підтверджує справедливість теоретичних положень, представлених у [4].

Ще однією важливою характеристикою процесу безконтактної підзарядки акумуляторів є вольтамперна характеристика (ВАХ) (рис. 3).

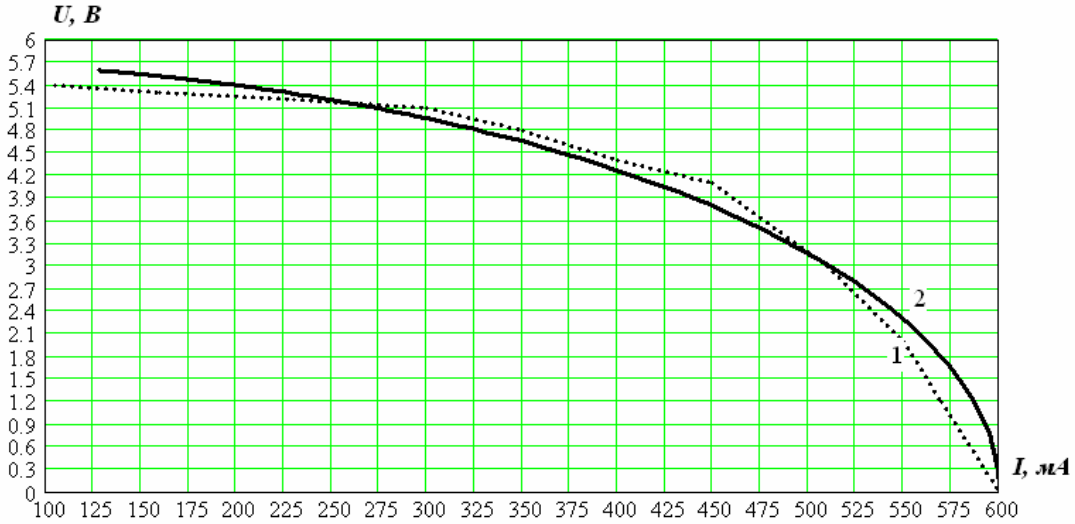


Рис. 3. Вольтамперна характеристика підзарядки акумулятора імплантованого електроприладу: 1 – експериментальна ВАХ; 2 – теоретична ВАХ

Під час побудови вольтамперної характеристики розглядалася ділянка, що відповідає найпоширенішим режимним параметрам заряду акумуляторів (струм 450 мА, напруга 4 В) [5; 6]. На рис. 3 представлено порівняння експериментально отриманої ВАХ з ВАХ, отриманою в результаті математичного моделювання. Як і попередня характеристика, експериментально отримана ВАХ процесу підзарядки акумулятора має досить гарний збіг з теоретичною.

Якщо використовується імплантований електроприлад, для підзарядки акумулятора якого необхідні інші режимні параметри, то варіюючи параметри елементів установки, можна одержати необхідні значення зарядного струму та напруги.

Найбільше на характер теслівських процесів при безконтактній підзарядці акумуляторів будуть впливати частота та вихідна напруга високочастотного інвертора та резонансна індуктивність передавального контуру. Збільшення напруги джерела приводить лише до збільшення переданої потужності, не змінюючи характеру процесу передачі; зміна ж частоти та резонансної індуктивності змінює положення резонансу в системі [4]. Вихідна напруга більшості сучасних високочастотних інверторів не перевищує 500 В. Подальше збільшення напруги вимагає додаткових витрат, пов’язаних зі встановленням підвищувального високочастотного трансформатора. Виконання високочастотного інвертора з широким діапазоном регулювання частоти також веде до збільшення вартості установки. Тому дуже зручно виконувати регулювання енергетичних параметрів процесу безконтактної підзарядки акумуляторів за допомогою зміни індуктивності резонансного дроселя в передавальному колі.

На рис. 4 наведені експериментально отримані вольтамперні характеристики бездротової передачі енергії при зміні індуктивності резонансного дроселя L_0 від 250 мкГн до 350 мкГн. Як бачимо, досить легко, змінюючи лише величину резонансної індуктивності, можна одержати різні значення зарядного струму та напруги.

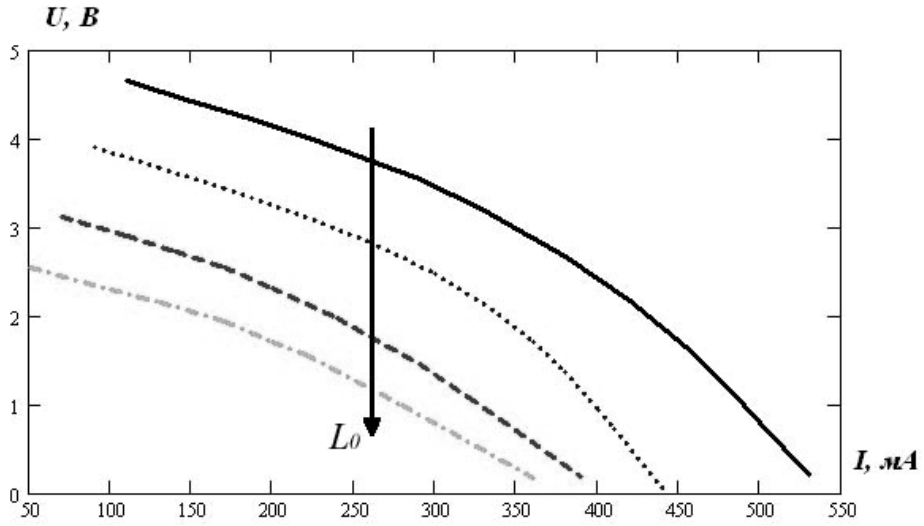


Рис. 4. Вплив резонансної індуктивності на ВАХ зарядки імплантованого акумулятора

Було проведено декілька дослідів з вертикально розташованими антенами (рис. 5). Отримано експериментальні залежності струму навантаження від відстані між передавальними й приймальними антенами, ВАХ, досліджено вплив параметрів установки, навантаження на процес бездротової передачі енергії.

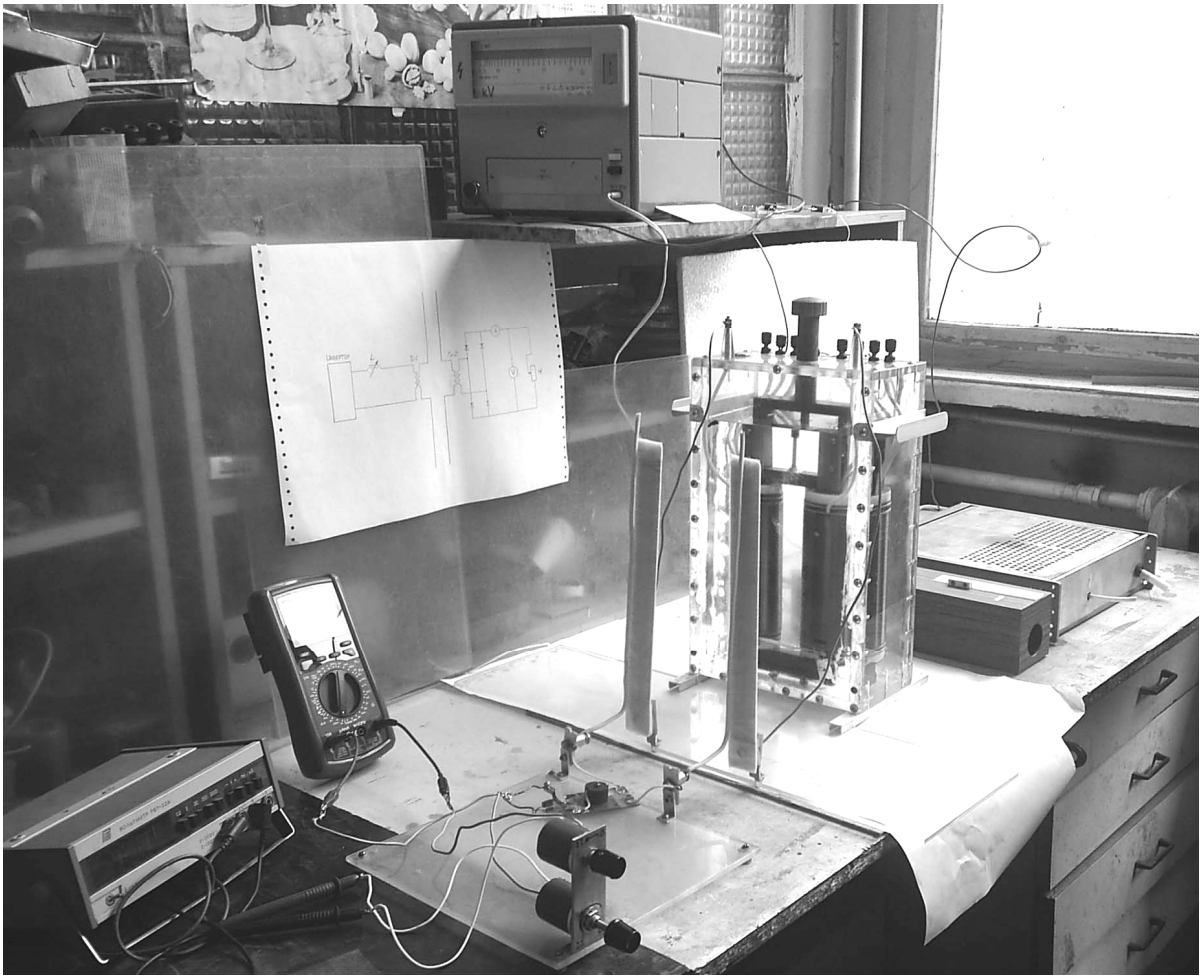


Рис. 5. Експериментальна установка для зняття характеристик теслівських процесів при безконтактній підзарядці акумуляторів імплантованих електроприладів з вертикально розташованими антенами

Результати експерименту в цьому випадку також з достатньою точністю збігаються з теоретичними. Закон зміни струму та форма вольтамперної характеристики аналогічні випадку з горизонтально розташованими антенами. Чисельна відмінність характеристик пов'язана з незначними змінами часткових ємностей при зміні відносного положення передавальних і приймальних антен.

Були проведені досліди щодо бездротової передачі енергії через органічне середовище (рис. 6). Цей експеримент повинен був відповісти на запитання про можливість бездротової передачі енергії за допомогою теслівських процесів через біологічну тканину. За органічне середовище було обрано свиняче сало, яке було обрано через те, що за своїми властивостями найбільш близьке до жирової тканини людини, крім того, воно легкодоступне. Передача енергії без проводів була здійснена успішно. При відстані між антенами 4 см і резонансній індуктивності 400 мкГн вдалося одержати струм у навантаженні 400 мА при напрузі 4 В.

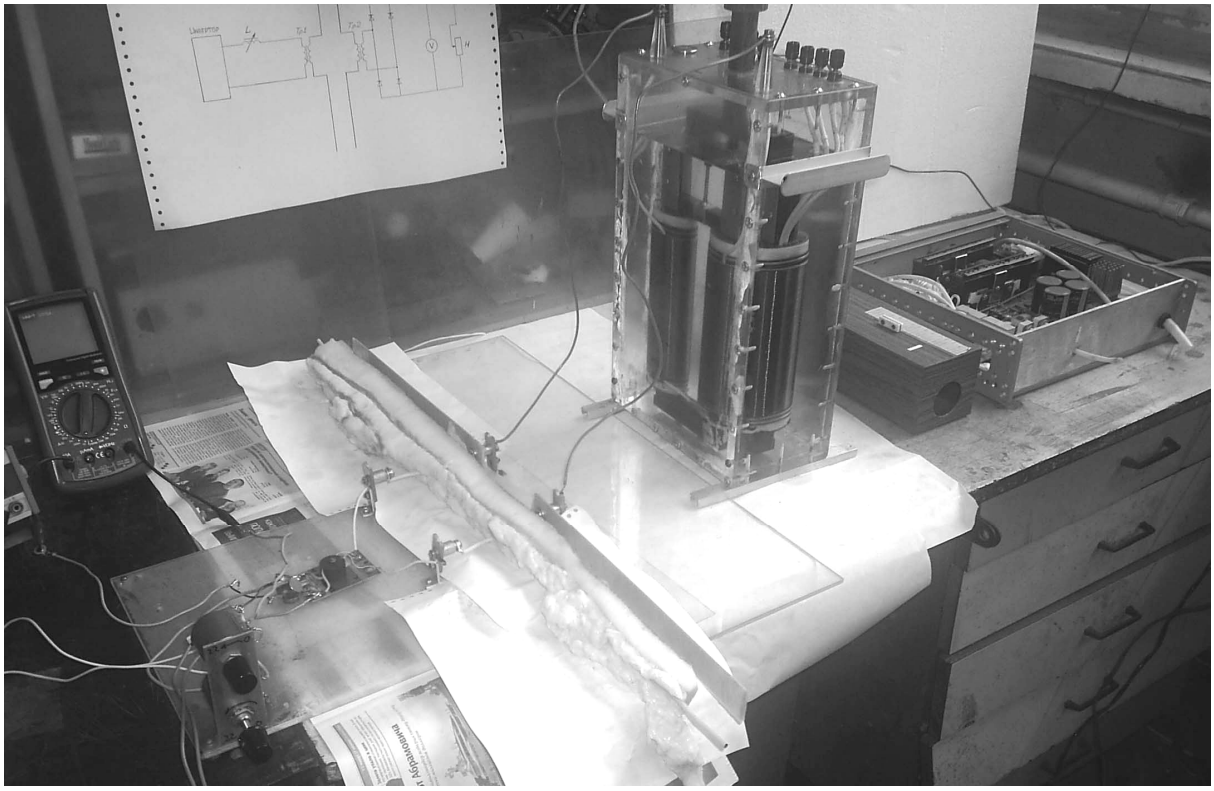


Рис. 6. Передача енергії без проводів через органічне середовище

Таким чином, результати експериментів підтверджують положення теорії бездротової передачі енергії за допомогою теслівських процесів та технічну можливість застосування теслівських процесів для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.

Висновки

1. Експериментально показана можливість здійснення безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.

2. Експериментально підтверджено справедливість теоретичних положень теорії теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів. Розбіжність між експериментальними та теоретичними результатами в робочому діапазоні не перевищує 5 %.

3. Виділено напрями подальших досліджень щодо створення ефективних систем безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.

Список використаних джерел

1. *Пентегов І. В.* Експериментальна установка для дослідження теслівських процесів при безконтактній зарядці акумуляторів / І. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки" : зб. – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – №1(55). – С. 233-239.

2. *Пат. України* на корисну модель. МПК A61N1/362, H04B10/10. Пристрій для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електростимуляторів / І. В. Пентегов, І. В. Волков, А. Л. Приступа, Д. О. Шейковський, Є. П. Стемковський. – № 31659 ; заявл. 03.03.06 ; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8. – 4 с.

3. *Пентегов И. В.* К расчету тесловских процессов при беспроводной передаче энергии / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // Електротехніка і електромеханіка. – 2007. – № 2. – С. 70-73.

4. *Пентегов И. В.* О возможности осуществления бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантированных электростимуляторов / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2008. – Ч. 5. – С. 109-113.

5. Литиевые элементы и батареи. Техническое руководство фирмы Panasonic. – 2000. – 100 с.

6. Никель-металлогидридные аккумуляторы. Техническое руководство фирмы Panasonic. – 2000. – 44 с.

УДК 537.311:532.783

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

ТЕМПЕРАТУРНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОЇ ПРОВІДНОСТІ І РУХЛИВОСТІ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В ХОЛЕСТЕРИЧНОМУ РІДКОМУ КРИСТАЛІ

Досліджені температурні залежності питомої електричної провідності і рухливості носіїв зарядів у холестеричному рідкому кристалі. Визначені величини енергій активацій питомої провідності і рухливості зарядів у різних рідкокристалічних станах. Аналіз температурних залежностей показує, що зміни провідності в областях фазових переходів у межах похибок обумовлені змінами рухливості носіїв заряду. Як під час охолодження до рідкокристалічного стану, так і під час нагрівання із цього стану природа механізму генерації і рекомбінації носіїв однакова.

Ключові слова: *холестеричний рідкий кристал, питома електрична провідність, рухливість носіїв заряду.*

Исследованы температурные зависимости удельной электрической проводимости и подвижности носителей зарядов в холестерическом жидком кристалле. Определены величины энергий активаций удельной проводимости и подвижности зарядов в разных жидкокристаллических состояниях. Анализ температурных зависимостей показывает, что изменения проводимости в областях фазовых преобразований в пределах погрешностей определены изменениями подвижности носителей заряда. Как при охлаждении к жидкокристаллическому состоянию, так и при нагревании из этого состояния природа механизма генерации и рекомбинации носителей одинакова.

Ключевые слова: *холестерический жидкий кристалл, удельная электрическая проводимость, подвижность носителей заряда.*

Temperature dependencies of specific conductivity and charge carrier mobility in cholesteric liquid crystal have been researched. Energy values of specific conductivity and charge carrier mobility in different liquid crystal states have been defined. Temperature dependencies analysis shows that changes of conductivity in the areas of phase transformation are defined by changes of the charge carrier mobility within the inaccuracy limits. While cooling to liquid crystal state, same as heating from this state, the nature of generation and carrier recombination is the same.

Key words: *cholesteric liquid crystal, specific electrical conductivity, charge carrier mobility.*

Вступ. Рухливість носіїв заряду є одним із фундаментальних та інформативних параметрів і дає багато інформації про характер електричних процесів у рідкому кристалі (мезофазі). Дослідження температурної залежності рухливості у різних рідкокристалічних станах, включаючи й області фазових переходів, аналіз взаємозв'язку результатів з відповідними даними про провідність, дозволяє зробити висновки про механізм провідності рідкокристалічної фази і процеси генерації носіїв заряду. Однак таких досліджень виконано мало.

Методи та результати. Електропровідність у рідкокристалічній фазі здійснюється іонами.

Рухливість вимірювалась методом зворотного поля за часом проходження носіїв струму між електродами під час зміни полярності прикладеної напруги до рідкокристалічного зразка.

У момент часу t = 0 до зразка прикладалась напруга U_1 і в об'ємі починався перерозподіл зарядів. При цьому струм через зразок зменшувався. Через проміжок часу t_1 , коли іони сконцентрувались біля одного електрода і струм прийняв квазістаціонарне значення, прикладалась напруга зворотної полярності U_2, менша за U_1. Сконцентровані біля першого електрода іони починали рухатись до другого електрода і коли їх основний пакет досягав його, струм у колі набував максимального значення. Вимірюючи проміжок часу τ від моменту зміни полярності напруги на зразку до моменту, коли струм у колі досягне максимального значення, можна розрахувати рухливість μ носіїв заряду:

$$\mu = \frac{d^2}{\tau U},$$

де d – відстань між електродами, U – прикладена до зразка електрична напруга.

Зміна у часі струму в колі записувалась двокоординатним потенціометром, що мав часову розгортку, або фіксувалась з допомогою осцилографа і визначався час τ. Зразок рідкого кристалу знаходився в триелектродній ячейці (з охоронним електродом), що поміщувалась у термостат. Це давало можливість досліджувати рухливість носіїв заряду при різних температурах. Кожне значення рухливості вимірювалось у квазістаціонарних температурних умовах: швидкість зміни температури під час нагрівання чи охолодження зразка не перевищувала 0,2. Значення напруг на зразку (одиниці вольт) підбиралось таким чином, щоб не виникало гідродинамічних течій і зміни текстури рідкого кристалу, що контролювалось з допомогою фотоелектронного підсилювача. Для вимірювання значень малих струмів, що протікали у колі (10^{-8}…10^{-11} А), використовувався електрометричний підсилювач.

Поряд з визначенням рухливості носіїв заряду в різних рідкокристалічних станах, становить інтерес знати, як буде поводити себе рухливість у випадку, якщо охолодити зразок до певної температури рідкокристалічного стану, а потім знову підвищувати температуру.

Експериментальні результати (рис.) показують, що температурні залежності рухливості зарядів у рідкокристалічній фазі й ізотропній рідині добре описуються експоненціальними функціями. Енергія активації провідності у мезоморфному стані та ізотропній рідині незначно більша відповідних значень енергії активації рухливості. Це говорить про те, що температурні зміни питомої провідності визначаються, в основному, характером поведінки рухливості зарядів.

Якщо зразок охолодити з ізотропної рідини з переходом його у смектичну (чи холестеричну) фазу до температури, що дещо перевищує температуру фазового переходу (смектичний рідкий кристал → твердий кристал чи холестеричний → смектичний рідкий кристал), а потім знову нагрівати до ізотропної рідини, то відповідні криві залежностей провідності і рухливості від температури розташовуються нижче за значеннями, порівняно з їх значеннями для процесу охолодження. При цьому температури фазових переходів смектик-холестерик, холестерик-ізотропна рідина зміщуються в сторону більш високих значень, а величини енергій активацій питомої провідності і рухливості зарядів – не змінюються. Ці результати свідчать про одну й ту ж природу механізму генерації і рекомбінації носіїв як під час охолодження до мезоморфного стану, так і під час нагрівання з відповідної мезофази.

У мезофазах та ізотропній рідині, як відомо, домінує іонний механізм електропровідності.

Молекули рідкого кристалу мають відмінний від нуля електричний дипольний момент і, цілком імовірно, що вони взаємодіють з полем іона, утворюючи сольватовані оболонки. Розглядаючи рух сольватованого іона у постійному електричному полі, у першому наближенні як сфери, можна оцінити радіус сольватації із формули Стокса:

$$\mu = \frac{q}{6\pi\eta r_s},$$

де η – коефіцієнт в'язкості, q – заряд іона, r_s – радіус сольватованого іона. Знаючи значення коефіцієнта в'язкості, можна одержати, що r_s за порядком величини рівний 10^{-9} м.

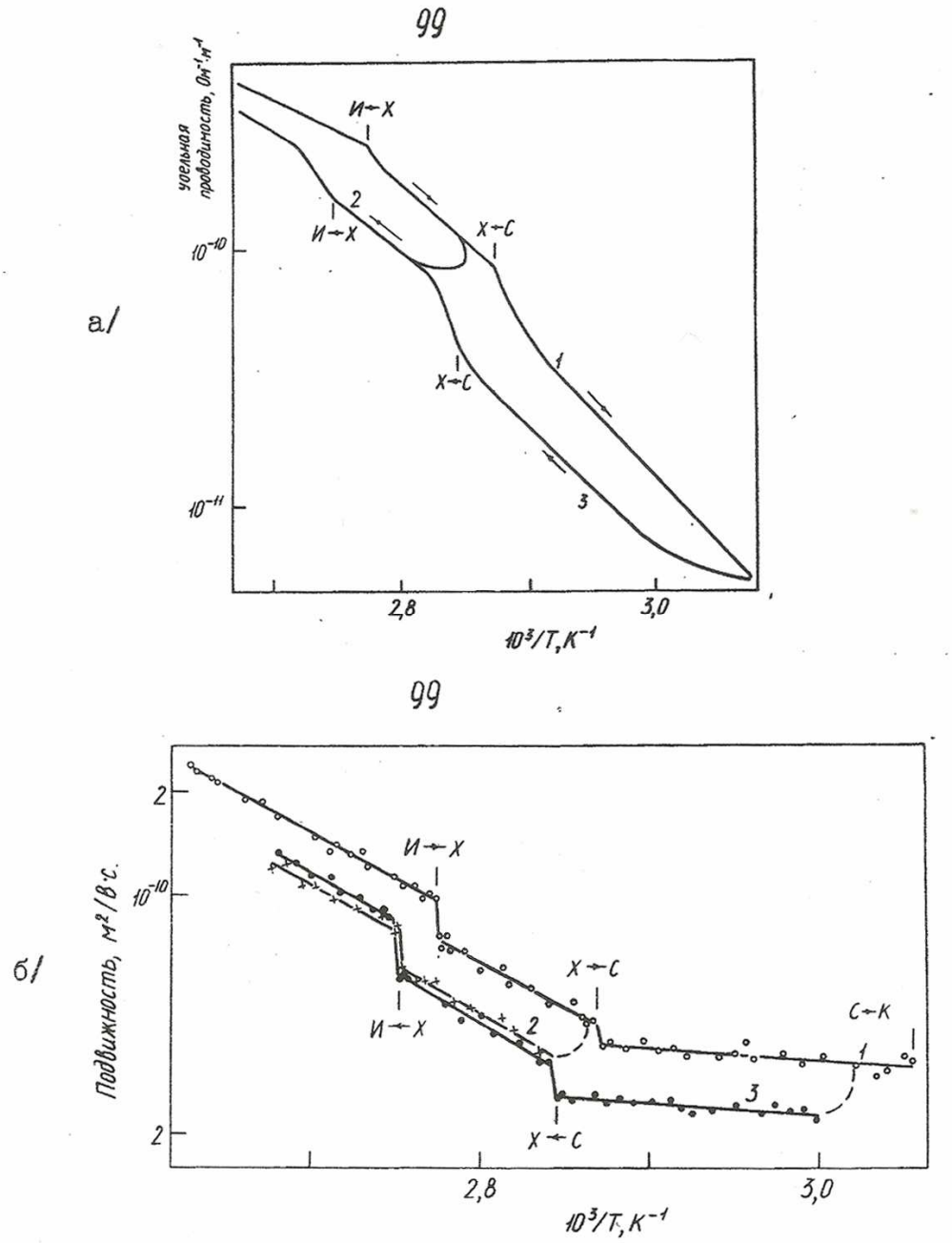


Рис. Температурні залежності питомої провідності (а) і рухливості носіїв зарядів (б) у холестерилкапринаті: 1 – охолодження з ізотропної рідини; 2 – нагрівання із холестеричної мезофази; 3 – нагрівання із смектичної мезофази

Висновки та результати. В одержаних експериментальних результатах температурних залежностей рухливості звертає на себе увагу значна відмінність у смектичній А-фазі величин енергій активації рухливості і питомої провідності, відповідно ΔE_μ = 0,08 еВ і ΔE_σ = 1,04 еВ. Це характерне також і для смектичної фази холестерилпеларгонату.

Таку слабку температурну залежність рухливості зарядів можна пояснити наявністю протонного механізму переносу заряду. Для існування протонної провідності в рідкому кристалі необхідна наявність у ньому молекул, здатних розпадатись з утворенням протонів. У реальних умовах процес розпаду молекул мезогена, чи домішкових молекул, можливий під час контакту речовини з водою. Інформацію про наявність у рідкому кристалі вільних протонів, про вплив адсорбованої речовиною вологи на їх кількість можуть дати дослідження водневого показника pH рідкого кристала.

Отже, виконано такі дослідження для холестерилпеларгонату.

У хроматографічно очищену і висушену речовину у процесі вимірювання кількості вільних протонів була внесена деяка кількість води з електрода порівняння іономіра, що пов'язане з принципом роботи останнього. Присутність вологи за час вимірювання не змінює pH висушеного мезогена. Кожне наступне вимірюваня проводилось через добу. Так, зокрема, у смектичні А-фазі висушеного у вакуумі холестерилпеларгонату при 68 ºС початкова концентрація протонів рівна $2{,}4\cdot10^{18}$ м$^{-3}$. Через добу концентрація збільшилась до $6{,}5\cdot10^{20}$ м$^{-3}$, через дві – більш ніж до 10^{24} м$^{-3}$. Для вказаної температури концентрація носіїв заряду, розрахована на основі вимірювання рухливості і провідності, має значення $2{,}2\cdot10^{18}$ м$^{-3}$. Тобто обидва незалежні методи визначення концентрації носіїв дають добре узгоджені результати. Після третього вимірювання мезоген знову висушувався протягом двох діб. І хоча вологу із нього повністю видалити складно, все ж результати дослідження зразка показують, що концентрація протонів зменшилась на декілька порядків.

Підвищене число протонів у холестеричній та ізотропній фазах порівняно з тим, що дає дистильована вода, можна пояснити утворенням, внаслідок гідролізу, пеларгонової кислоти і дисоціацією її при високих температурах.

Аналіз температурних змін рухливості і питомої провідності показує, що зміни провідності в областях фазових переходів у межах похибок обумовлені змінами рухливості носіїв заряду.

Список використаних джерел

1. *Блинов Л. М.* Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л. М. Блинов. – М. : Наука, 1978. – С. 121-139.

2. *Гриценко М. І.* Фізика рідких кристалів : навч. посіб. / М. І. Гриценко. – К. : Академія, 2012. – 272 с. – (Серія «Альма-матер»).

3. *Сонин А. С.* Введение в физику жидких кристаллов / А. С. Сонин. – М. : Наука, 1983. – С. 104-114.

4. *Сугаков В. Й.* Фізика рідкокристалічного стану / В. Й. Сугаков. – К. : Вища школа, 1992. – С. 16, 17, 24-26, 32-34.

УДК 621.316.1.024

С.А. Тимчук, канд. техн. наук
А.А. Мирошник, канд. техн. наук
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка, г. Харьков, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ 10/0,4 КВ В НЕЧЕТКОЙ ФОРМЕ

Рассмотрена возможность представления потерь электрической энергии в трансформаторе в нечеткой форме с учетом вида нагрузки. Получены коэффициенты регрессии и построена нечеткая регрессионная зависимость мощности потерь в трансформаторе от номинальной мощности трансформатора.

Ключевые слова: *потери электрической энергии, силовой трансформатор, нечеткие множества.*

Розглянуто можливість представлення втрат електричної енергії в трансформаторі в нечіткій формі з урахуванням виду навантаження. Отримані коефіцієнти регресії і побудована нечітка регресійна залежність потужності втрат в трансформаторі від номінальної потужності трансформатора.

Ключові слова: *втрати електричної енергії, силовий трансформатор, нечіткі множини.*

The opportunity of representation of electric power losses in the transformer in the fuzzy form for the type of load. The coefficients of the regression and built Fuzzy dependence of the power loss in the transformer of the rated power of the transformer.

Key words: *loss of power, the power transformer, fuzzy sets.*

Постановка проблемы. На современном этапе развития электроэнергетики Украины остро стоит задача радикального повышения эффективности процессов производства и транспортировки электроэнергии, что напрямую связано со снижением потерь и затрат различной природы в электросетях вообще и в силовых трансформаторах в частности. Наиболее радикально проблему снижения потерь и затрат в сетях электроснабжения можно решить при их проектировании и реконструкции, минимизировав таким образом сложность задач, решаемых при их эксплуатации.

Одной из ключевых, но в то же время и наименее изученной для объектов энергетики является проблема разрешения неопределенности информации. Несмотря на сравнительно большой опыт и научные исследования в этой области, принятие решений в процессе проектирования и реконструкции сетей электроснабжения в условиях неопределенности и неполноты исходной информации осуществляется все же при дефиците современных, всесторонне обоснованных рекомендаций и методик.

Анализ последних исследований и публикаций. На современном этапе математически корректно можно описывать неопределенность двух типов: случайность и нечеткость [1]. Неопределенность типа случайности целесообразно применять к процессам, связанным с ожиданием появления событий, последствия которых нам неизвестны. А нечеткость связана с проблемой неоднозначного решения последствий событий, которые уже состоялись.

При проектировании и реконструкции электросетей для оценки потерь мощности в силовых трансформаторах используются интегральные показатели за достаточно большие промежутки времени. Поэтому применение стохастических моделей в данном случае не является корректным. Традиционно применяемые детерминированные математические модели вносят существенные упрощения и порождают проблему точности, которую для достаточно сложных систем определить весьма затруднительно и которая часто в сложных случаях игнорируется.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы. Поэтому представляется перспективным применение нечеткого подхода, который является более общим, чем детерминированный, автоматически решает проблему точности и может использовать наработки, полученные в рамках детерминированного подхода.

Целью данной статьи является разработка нечеткой математической модели потерь мощности в силовых трансформаторах с использованием детерминированного подхода.

Изложение основного материала. Теория нечетких множеств [1] предоставляет широкий спектр возможностей для раскрытия неопределенности в нечеткой форме.

Однако для сохранения преемственности исходная для модели потерь мощности в силовых трансформаторах информация должна быть в форме, удобной для использования в рамках детерминированного подхода.

Поскольку исходные данные для модели фигурируют в численной форме, то естественным является представление данной информации в виде частного случая нечетких множеств – в виде нечетких чисел. С вычислительной точки зрения удобно использовать нечеткие числа в форме аналитической аппроксимации с помощью так называемых (*L*-*R*)-функций, а точнее – в наиболее применяемой форме треугольных нечетких чисел.

Треугольное нечеткое число удобно представить в виде кортежа из трех чисел: $A_\Delta=<a, \alpha, \beta>_\Delta$, где a — модальное значение треугольного нечеткого числа; α и β – левый и правый коэффициенты нечеткости.

При этом параметры треугольного нечеткого числа A_Δ, однозначным образом связаны с параметрами треугольной функции принадлежности $\mu_\Delta = f_\Delta(x; x_м, x_{\min}, x_{\max})$. А именно, $a=x_м$, $\alpha=x_м-x_{min}$, $\beta=x_{max}-x_м$.

Таким образом, для представления потерь мощности в силовых трансформаторах в виде треугольного нечеткого числа, необходимо определить границы носителя нечеткого множества и модальное значение.

Воспользуемся наработками детерминированного подхода [2].

Исходными являются паспортные данные по потерям мощности в силовых трансформаторах – это потери холостого хода $\Delta P_{x.x.}$, называемые также потерями в стали, и потери в режиме короткого замыкания $\Delta P_{к.з.}$. Указанные величины зависят от номинальной мощности и конструктивных особенностей трансформатора.

В [3] показано, что при отклонении величины напряжения на зажимах трансформатора от номинального значения изменяется индукция в стали магнитопровода, а поскольку потери в стали трансформатора зависят от индукции, их величина уже не будет соответствовать паспортным данным.

По данным экспериментальных исследований [3] потери в стали трансформатора связаны с индукцией эмпирической зависимостью

$$\Delta P_c \approx B^m f^n, \qquad (1)$$

где m = 3 при значениях индукции B =1,5 … 1,8 Тл для трансформаторов рассматриваемых мощностей.

В то же время индукция в стали трансформатора изменяется прямо пропорционально напряжению. Можно задаться отклонением напряжения на зажимах трансформатора в пределах ±5 % от номинального значения, что является пределами регулирования напряжения для трансформаторов с ПБВ. То есть, целесообразно рассматривать изменение индукции в пределах ±5 %. Тогда потери в магнитопроводе могут быть представлены следующим треугольным нечетким числом

$$\begin{aligned}\Delta P'_{x.x.} &= <\Delta P_{x.x.}; \Delta P_{x.x.} - \Delta P_{x.x.\min}; \Delta P_{x.x.\max} - \Delta P_{x.x.}>= \\ &= <\Delta P_{x.x.}; (1\text{-}0{,}95^3)\Delta P_{x.x.}; (1{,}05^3\text{-}1)\Delta P_{x.x.}> = \\ &= <\Delta P_{x.x.}; 0{,}14\,\Delta P_{x.x.}; 0{,}16\,\Delta P_{x.x.}>.\end{aligned} \qquad (2)$$

Для расчета потерь мощности в трансформаторах целесообразно воспользоваться детерминированной методикой [4] определения годовых потерь энергии в трансформаторе

$$\Delta A = \Delta P_{x.x.} \cdot 8760 + \Delta P_{к.з.} k_з^2 \tau, \qquad (3)$$

где τ – число часов потерь [4].

Отсюда

$$\Delta P = \Delta P_{к.з.} k_з^2 \frac{\tau}{8760} + \Delta P_{х.х.}. \quad (4)$$

Число часов потерь мощности в трансформаторе можно оценить в зависимости от характера нагрузки потребителей сети. Известно, что для ТП 10/0,4 кВ величина τ изменяется в широких пределах:

– τ = 1100 ч для коммунально-бытовой нагрузки;
– τ = 1500 ч для производственной нагрузки;
– τ = 1800 ч для смешанной с преобладанием производственной нагрузки;
– τ = 1400 ч для смешанной с преобладанием коммунально-бытовой нагрузки.

При этом следует учитывать, что $\tau_{\min} = 0; \tau_{\max} = 8760$, а, следовательно, число часов потерь мощности можно представить нечетким числом вида

$$\tau' = <\tau, \tau, 8760 - \tau>. \quad (5)$$

Коэффициент загрузки $k_з$ трансформатора представляет собой отношение расчетного значения тока нагрузок к номинальному току трансформатора.

Для оценки среднего значения потерь мощности величину коэффициента загрузки силового трансформатора на стадии проектирования можно принять $k_з$ = 1. При расчете потерь в режиме максимальных нагрузок задаются рекомендуемым для данной климатической зоны значением коэффициента допустимых перегрузок трансформатора $k_{зmax} = k_д$. Например, на территории Украины значение коэффициента допустимых перегрузок принимается $k_д$ = 1,4 [4]. Кроме того, при низких температурах в зимний период вследствие улучшения процесса охлаждения коэффициент допустимых перегрузок трансформатора может быть увеличен.

Таким образом, значение коэффициента загрузки можно представить в виде треугольного нечеткого числа

$$k_з = <1; 1; 0{,}4>. \quad (6)$$

Подставив (2), (5), (6) в (4), получим выражение для определения потерь мощности в силовых трансформаторах в нечеткой форме

$$\Delta P' = <\Delta P_m; \Delta P_m - 0{,}86\Delta P_{х.х.}; 1{,}96\Delta P_{к.з.} + 1{,}16\Delta P_{х.х.} - \Delta P_m> =$$
$$= <\Delta P_{к.з.} \frac{\tau}{8760} + \Delta P_{х.х.}; \Delta P_{к.з.} \frac{\tau}{8760} + 0{,}14\Delta P_{х.х.}; \quad (7)$$
$$(1{,}96 - \frac{\tau}{8760})\Delta P_{к.з.} + 0{,}16\Delta P_{х.х.}>.$$

Результаты расчетов с использованием выражения (7) приведены в табл. Здесь ΔP_{m1} - ΔP_{m4} – модальные значения нечетких значений потерь мощности в силовых трансформаторах соответственно для коммунально-бытовой нагрузки, производственной нагрузки, смешанной с преобладанием производственной нагрузки, смешанной с преобладанием коммунально-бытовой нагрузки.

Для решения задач анализа эффективности работы силовых трансформаторов в конкретных условиях удобнее использовать не табличное, а аналитическое представление зависимости потерь мощности от номинальной мощности трансформатора. Для этого воспользуемся методикой нечеткого регрессионного анализа, приведенной в [2].

В результате получена нечеткая регрессионная зависимость (8) мощности потерь от мощности трансформатора (рис.).

$$\Delta P' = \alpha \cdot S_н^2 + \beta S_н + \gamma. \quad (8)$$

Таблица

Паспортные данные и расчетные значения минимальных, максимальных и модальных значений потерь мощности в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ

Номин. мощн. трансф. $S_{н.}$, кВА	$\Delta P_{x.x.}$, кВт	$\Delta P_{к.з.}$, кВт	ΔP_{min}, кВт	ΔP_{max}, кВт	ΔP_{m1}, кВт	ΔP_{m2}, кВт	ΔP_{m3}, кВт	ΔP_{m4}, кВт
10	0,075	0,3	0,06	0,67	0,11	0,13	0,14	0,12
16	0,08	0,43	0,07	0,94	0,13	0,15	0,17	0,15
25	0,09	0,69	0,08	1,46	0,18	0,21	0,23	0,20
40	0,14	1	0,12	2,12	0,27	0,31	0,35	0,30
63	0,22	1,47	0,19	3,14	0,40	0,47	0,52	0,45
100	0,27	2,27	0,23	4,76	0,56	0,66	0,74	0,63
160	0,41	3,1	0,35	6,55	0,80	0,94	1,05	0,91
250	0,56	4,2	0,48	8,88	1,09	1,28	1,42	1,23
400	0,73	5,9	0,63	12,41	1,47	1,74	1,94	1,67
630	1,1	8,5	0,94	17,93	2,17	2,56	2,85	2,46
1000	1,55	12,2	1,33	25,71	3,08	3,64	4,06	3,50
1250	1,85	13,5	1,59	28,60	3,55	4,16	4,62	4,01
1600	2,3	16,5	1,97	35,00	4,37	5,13	5,69	4,94

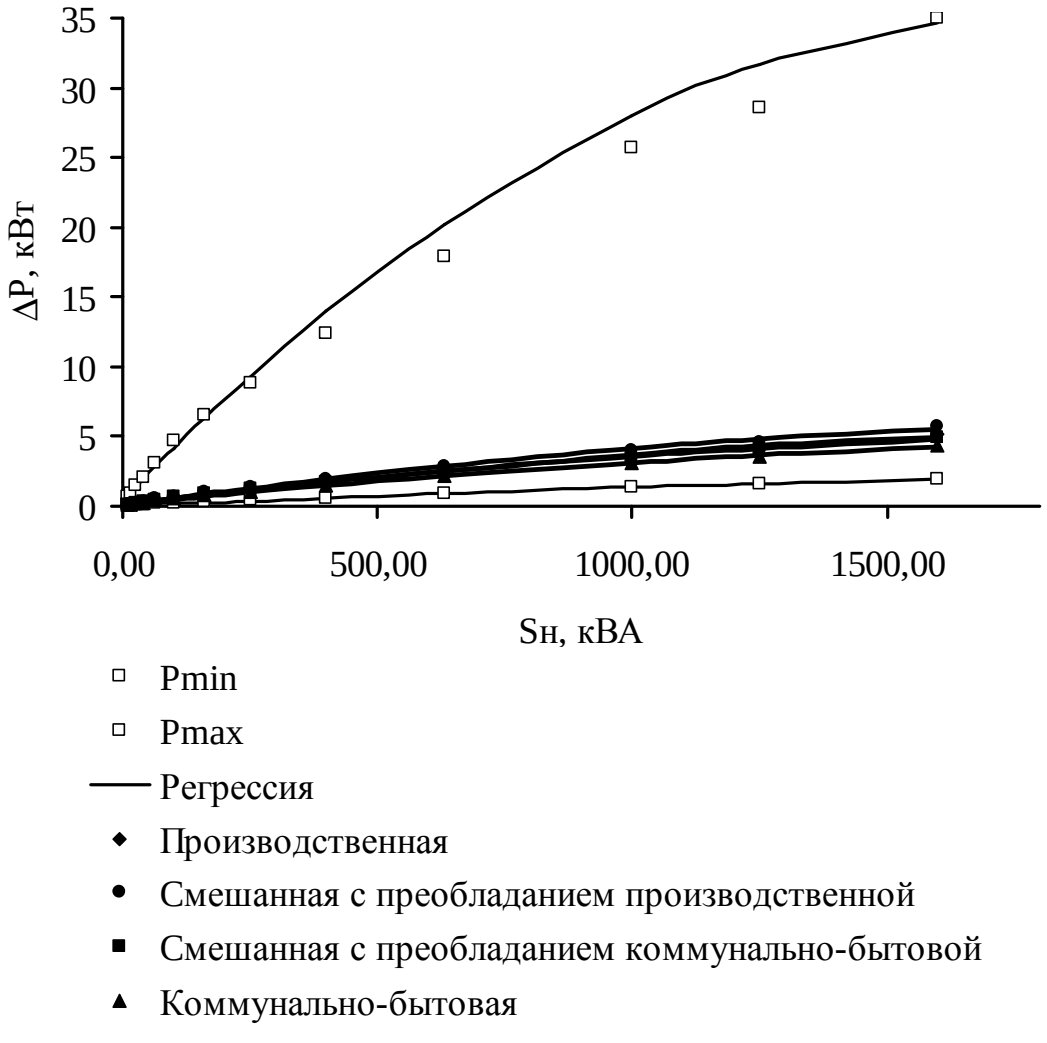


Рис. Нечеткая регрессионная зависимость мощности потерь в трансформаторе от мощности трансформатора

Значения нечетких коэффициентов регрессии для коммунально-бытовой нагрузки α = <-1,42292E-07, -7,2213E-07, -1,023E-05>, β = <0,0014, 0,0038, 0,0377>, γ = <0,0457, 0,0897, 0,4966>; для производственной нагрузки α = <-1,42292E-07; -8,8014E-07; -1,023E-05>; β =<0,0014; 0,0045; 0,0377>; γ =<0,0457; 0,0993; 0,4966>; для смешанной с преобладанием производственной нагрузки α = <-1,42292E-07; -1,0179E-06; -1,023E-05>; β =<0,0014; 0,0050; 0,0377>; γ =<0,0457; 0,1064; 0,4966>; для смешанной с преобладанием коммунально-бытовой нагрузки α = <-1,42292E-07; -8,5473E-07; -1,023E-05>; β =<0,0014; 0,0043; 0,0377>; γ =<0,0457; 0,0969; 0,4966>.

Вывод. Таким образом, разработанные нечеткие зависимости позволяют рассчитать потери мощности в силовых трансформаторах на ранних стадиях проектирования при отсутствии конкретных характеристик потерь, могут использоваться в общих для сети оптимизационных расчетах, используют и обобщают разработанные ранее детерминированные математические модели.

Список использованных источников

1. *Zadeh L. A.* Fuzzy sets / Lotfy Zadeh // Information and Control, 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.
2. *Тимчук С. А*. Получение регрессионных зависимостей для данных, представленных в виде треугольных нечетких чисел / С. А. Тимчук // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25 : сб. трудов XXV Междунар. науч. конф. : в 10 т. Секция 6, 7, 13. – Волгоград : Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012; Харьков : Нац. техн. ун-т «ХПИ», 2012. – Т. 4. – С. 25-26.
3. *Оцінка* втрат неробочого ходу в трансформаторах з регулюванням під напругою / О. В. Мірошник, О. О. Мірошник, В. Г. Пазій, О. А. Котляр // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків : ХНТУСГ, 2010. – Вип. 101. – С. 28-30.
4. *Будзко И. А*. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Н. М. Зуль. – М. : Агропромиздат, 1990. – 446 с.

УДК 681.3.014

С.В. Леміш, магістр
О.О. Гусев, канд. техн. наук
А.С. Ревко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАВАДОСТІЙКА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ СИЛОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Запропонована конструкція нового інтерфейсу передачі даних, призначеного спеціально для інтеграції у силовий перетворювач, блоки якого знаходяться на відстані один від одного. Цей варіант реалізації каналу зв'язку поєднує у собі простоту апаратного та програмного забезпечення інтерфейсу і, в той же час, достатній рівень завадостійкості, що забезпечує стійку комунікацію між блоками перетворювача.

***Ключові слова**: завадостійкість, передача даних, силовий перетворювач.*

Предложена конструкция нового интерфейса передачи данных, предназначенного специально для интеграции в силовой преобразователь, блоки которого находятся на расстоянии друг от друга. Данный вариант реализации канала связи сочетает в себе простоту аппаратного и программного обеспечения интерфейса и, в то же время, достаточный уровень помехоустойчивости, обеспечивает устойчивую коммуникацию между блоками преобразователя.

***Ключевые слова**: помехоустойчивость, передача данных, силовой преобразователь.*

The design of a new data communication interface designed specifically for integration into the power converter units, which are at a distance from each other. This version of the communication channel combines the simplicity of the hardware and software interface and, at the same time, a sufficient level of noise immunity, which ensures stable communication between units converter.

***Key words:** robustness, data transmission, power converter.*

Постановка проблеми. Під час роботи силових електронних пристроїв важливим питанням є точність передачі інформації між системою керування та об'єктом керування. Великі струми, що протікають по силових елементах схеми, створюють потужне електромагнітне поле, яке негативно впливає на роботу інших елементів схеми. Особ-

ливо небезпечними є електромагнітні поля, що виникають під час роботи індуктивностей та трансформаторів в імпульсних пристроях силової електроніки. Електромагнітні завади, якими супроводжується комутація напівпровідникових приладів, можуть спотворювати сигнали зворотного зв'язку та керування.

Проблема завад у силовій електроніці посідає важливе місце. Їх вплив може порушити роботу всієї системи. Силові пристрої, будучи джерелом завад, самі ж від них і страждають [1].

Сучасний рівень розвитку промисловості характеризується широким різноманіттям застосування автоматичних систем. Висока чутливість засобів автоматики, значна відстань від пунктів керування до давачів та силових перетворювачів, тенденція до об'єднання на підприємстві всіх машин і обладнання у спільну мережу робить проблему завадостійкої передачі даних актуальною на сьогодні [2; 3].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є покращення якості функціонування пристроїв силової електроніки за рахунок введення завадостійкого інтерфейсу передачі даних між їх блоками.

Виклад основного матеріалу. У цій роботі запропонована конструкція силового перетворювача, в якому використаний новий інтерфейс передачі даних. Оптимальне рішення для створення цього інтерфейсу – застосування оптичного волокна як середовища для передачі інформації, а також використання протоколу обміну даними з найменшою збитковістю і максимально можливою швидкістю передачі.

Застосування оптичного волокна дозволяє звести до мінімуму вплив завад, які могли б наводитись безпосередньо на канал передачі даних, а також вплив паразитних параметрів лінії при великих швидкостях передачі та значній довжині кабелю (активний опір, ємність тощо). Під каналом передачі даних розуміємо сукупність фізичного та логічного інтерфейсу передачі даних. Протокол обміну даними, у свою чергу, включає в себе мінімальну кількість інформації, необхідну саме для роботи силового перетворювача. В одному напрямку передаються дані, отримані з давачів пристрою, а в іншому – сигнали для керування силовою частиною (коефіцієнти заповнення широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) для кожного ключа). Передача адрес, сервісних даних, байтів форматування кадру, кодів команд, контрольних сум, сигналів підтвердження тощо не передбачена [4; 5]. Проте всі необхідні функції для стійкої комунікації реалізовані.

Структурна схема силового перетворювача з новим інтерфейсом передачі даних зображена на рис. 1. Алгоритм керування пристроєм формується системою керування. Інтерфейс перетворює вхідні й вихідні дані в зручну для передачі форму згідно з розробленим протоколом. Оптичні трансивери забезпечують двосторонню передачу інформації по оптичному волокну. Блок обробки інформації збирає дані з давачів та керує роботою силової частини перетворювача.

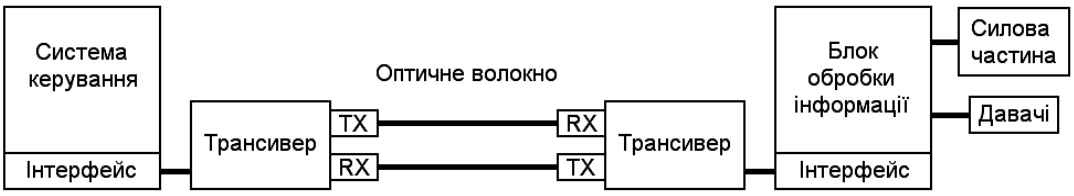


Рис. 1. Структурна схема перетворювача з новим інтерфейсом

Економічна перевага використання оптично-волоконного каналу стає помітною під час проектування довгих ліній, оскільки на сьогодні спостерігається тенденція до збільшення вартості міді в противагу до зменшення вартості напівпровідникових пристроїв і кварцевих волокон.

Під час проектування силового пристрою не слід нехтувати стандартними методами зменшення рівня завад – заземлення, екранування, використання фільтрувальних елемен-

тів, правильне трасування друкованих плат тощо. Особливу увагу слід приділити захисту інтегральної схеми, яка забезпечує логіку роботи каналу. Вона повинна мати стабільне живлення і бути захищеною від впливу завад, які можуть виникнути у самому перетворювачі.

У цій системі запропоновано протокол, що є оптимальним для керування силовим перетворювачем під час використання оптичного волокна як середовища передачі даних.

Вхідний пакет для системи керування перетворювачем (рис. 2, *а*) містить сигнал START та N фрагментів даних від давачів, де N – кількість давачів у системі, і довжина кожного такого фрагмента дорівнює розрядності давача в бітах. START – унікальний сигнал, що передається в лінію лише на початку кадру. Він дозволяє виділити межі пакета, а також ініціює прийом кадру приймачем. Впровадження такого сигналу для цієї системи є більш ефективним, ніж використання преамбули для початку кадру у схожих типах протоколів, оскільки такий сигнал має меншу довжину (три бітових інтервали) і може зустрічатись ніде, окрім початку кадру. Вихідний пакет системи керування (рис. 2, *б*) містить сигнал START та послідовність фрагментів керування ключами від SW 0 до SW N, де N – кількість напівпровідникових ключів у системі. Таким чином, цей протокол містить лише мінімально необхідну інформацію для роботи силового перетворювача.



а *б*

Рис. 2. Формат вхідного кадру для системи керування (а) та вихідного кадру системи керування (б)

На фізичному рівні у цьому проекті використовується метод кодування, який побудований на основі Manchester II (рис. 3). Він дозволяє забезпечити стійку синхронізацію та виконати детектування помилки безпосередньо на фізичному рівні. Основний недолік такого методу – збільшення частотного діапазону вдвічі. Цей спосіб передачі досить легко може бути реалізований у системах з оптичними трансиверами.



Рис. 3. Сигнал у лінії під час передачі кадрів

Відстань між посилками не має значення (вибір апаратних ресурсів перетворювача можна вважати оптимальним, якщо відстань між кадрами дорівнює нулю). Прийом кадру ініціюється сигналом START, який являє собою послідовність із високого та низького рівнів у лінії, тривалість кожного з яких дорівнює 1,5 бітових інтервали. Таким чином, забезпечується мінімальний час виділення початку кадру, а також гарантія того, що подібна послідовність не зустрінеться в лінії будь-коли, окрім початку пакета.

Синхронізація виконується постійно на кожному біті посилки, оскільки кожен біт передбачає зміну логічного рівня на протилежний усередині бітового інтервалу. Спосіб виконання синхронізації може варіюватись залежно від алгоритму роботи дешифратора. В такій системі стабільність частоти не є необхідною умовою.

Детектування помилки в каналі здійснюється безпосередньо на фізичному рівні. Оскільки цей метод кодування передбачає зміну логічного рівня на протилежний усередині кожного бітового інтервалу, то завмирання сигналу на одному з рівнів у межах одного інтервалу можна вважати ознакою помилки.

Для обробки помилок використаний алгоритм, який є найбільш оптимальним саме у силовому перетворювачі. У разі помилки в каналі приймач відновлює попередній валідний кадр. Запит про повторну передачу даних не передбачений, що є виправданим в обох наступних варіантах:

1. Канал працює швидше, ніж блоки власне силового перетворювача. Існує можливість передати, наприклад, одну вибірку з давачів кілька разів, оскільки канал виконує обмін безперервно. У разі помилки відновлюється останнє валідне значення, а нове валідне приймається наступного разу. В такому випадку алгоритм роботи силового перетворювача ніяк не порушується, якщо не брати до уваги затримки в один кадр, що є досить малою у порівнянні із швидкістю роботи власне силового перетворювача.

2. Канал не працює швидше, ніж блоки перетворювача, і тому одну вибірку можливо передати лише один раз. Виконувати запит про повторну передачу недопустимо, оскільки необхідно прийняти наступне значення. Таким чином, найбільш ефективне рішення – це проігнорувати невалідний кадр, замінивши його попереднім валідним, і потім отримати наступну вибірку. У цьому випадку також спостерігатиметься затримка на один кадр, що суттєво не вплине на роботу перетворювача.

Така послідовність сигналів може бути отримана на виході портів інтегральної схеми як послідовність логічних рівнів, а введення інформації може виконуватись як детектування логічного рівня. Тому для реалізації каналу на фізичному рівні буде достатньо додати до системи оптичний трансивер, що керується ТТЛ-рівнями. Для вирішення поставленої задачі широкого розповсюдження набули оптичні збірки-трансивери, які можуть бути інтегровані у систему. До їх складу входить лазерний випромінювач, мікросхема-драйвер для керування ним та фотоприймач, що дозволяє отримати на виході сигнали ТТЛ-рівнів. Канал дозволяє виконувати обмін даними на великій швидкості, що є важливим, оскільки на сьогодні спостерігається тенденція до збільшення чутливості та точності давачів, а також до зростання частот комутації напівпровідникових ключів.

Моделювання впливу завад. У процесі моделювання виконано порівняння стійкості перетворювача до завад під час використання нового розробленого протоколу і стандартного протоколу, що використовує метод кодування Manchester II, проте не виконує детектування помилок, а періодично зчитує рівні отриманого сигналу, обробляючи невалідні кадри так само, як і валідні.

Модель включає в себе дві однакові системи, розроблені за принципами, що описані вище. На обидві системи з різними протоколами наводилися однакові сигнали завад, спектри яких зображені на рис. 4. Імпульси підібрані таким чином, щоб, з одного боку, зробити невалідними частину пакетів у каналі, що імітує вплив реальних завад, які могли б наводитись на канал передачі даних, а з іншого, сигнал має такий спектральний склад, який є найбільш вірогідним для завад, що виникають внаслідок комутації напівпровідникових ключів (найбільш виражені спектральні складові співпадають із частотою роботи перетворювача).

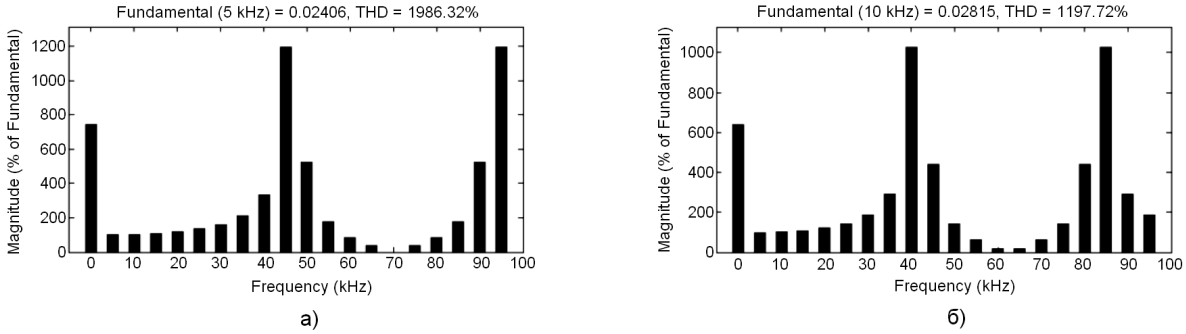


Рис. 4. Спектри сигналів завад, що наводились на лінії каналу передачі даних: у лінії вихідних сигналів системи керування перетворювачем (а); у лінії вхідних сигналів для системи керування перетворювачем (б)

З осцилограм процесу регулювання вихідного параметра перетворювача (рис. 5) легко бачити, що під час наведеного рівня завад робота перетворювача зі стандартним

протоколом порушується, в той час, як перетворювач із запропонованим протоколом функціонує коректно.

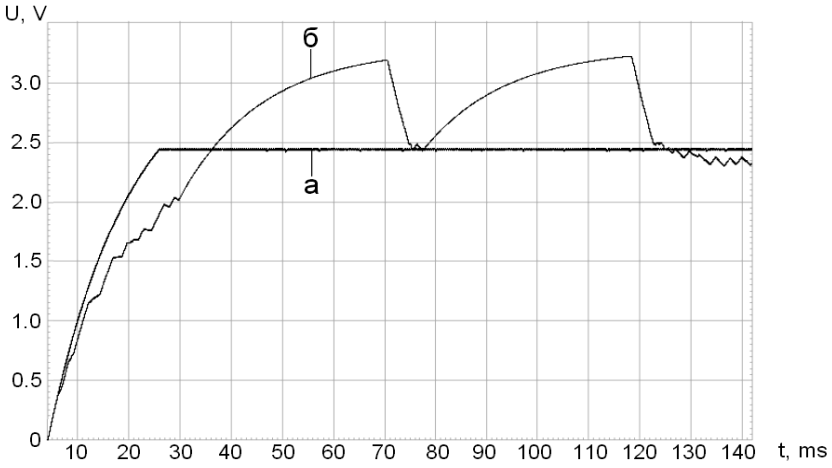


Рис. 5. Процес регулювання вихідної величини перетворювача: з новим розробленим протоколом (а); зі стандартним протоколом (б)

Слід зазначити, що такий рівень завад є аварійним режимом роботи системи (втрачено половину пакетів), і подібні режими роботи на практиці допускатись не повинні.

Експериментальні характеристики інтерфейсу. Для дослідження експериментальних характеристик створено лабораторний макет силового перетворювача з інтегрованим завадостійким інтерфейсом передачі даних між системою керування та силовою частиною. Лабораторний макет являє собою понижувальний DC/DC-перетворювач [6; 7] (рис. 6), у якому система керування та силова частина виконані у вигляді окремих блоків, що мають роздільні джерела живлення.

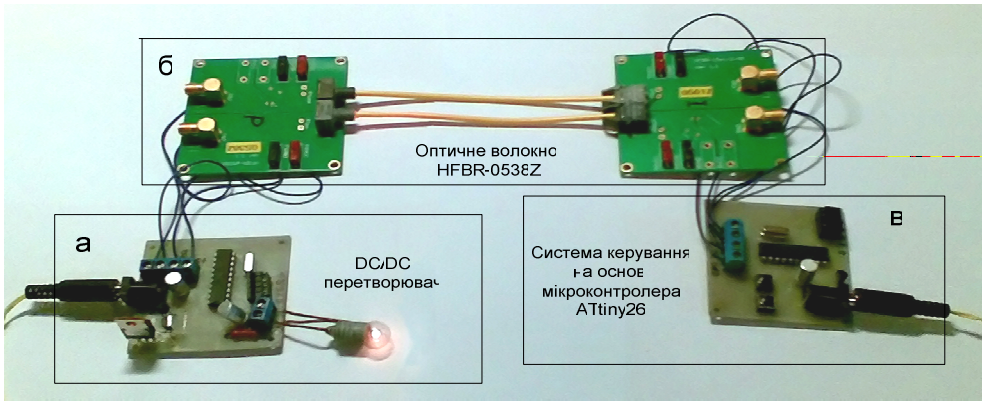


Рис. 6. Фотографія експериментального зразка системи: силова частина перетворювача (а); канал передачі даних (б); система керування перетворювачем (в)

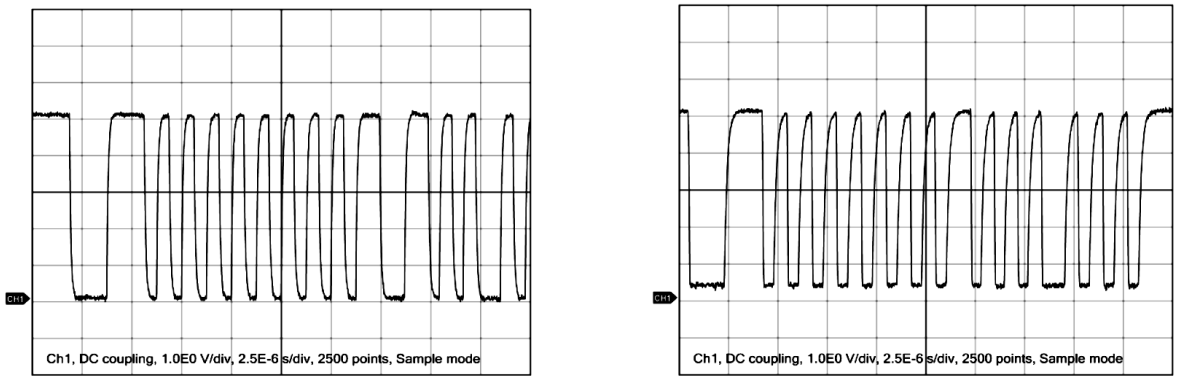
Комунікація між цими двома блоками здійснюється за допомогою розробленого у ході роботи оптичного каналу передачі даних за описаним вище протоколом. Система керування циклічно формує і передає вихідний кадр, що містить інформацію про коефіцієнт заповнення ШІМ, далі очікує на вхідний кадр. Якщо кадр прийнято без помилок, виконується формування закону регулювання силового перетворювача, і результат буде переданий у наступному циклі. У випадку помилки замість отриманого кадру підставляється значення попереднього валідного кадру і всі наступні операції виконуються з ним.

Схожий алгоритм для комунікації реалізований і в силовій частині перетворювача. Проте, якщо блок керування не отримує вхідного кадру протягом певного часу, відбувається перезавантаження пристрою: вимкнення навантаження і спроба відновити

зв'язок (таким чином, один блок чекає відповіді від другого). Те ж саме відбудеться при прийомі великої кількості невалідних кадрів.

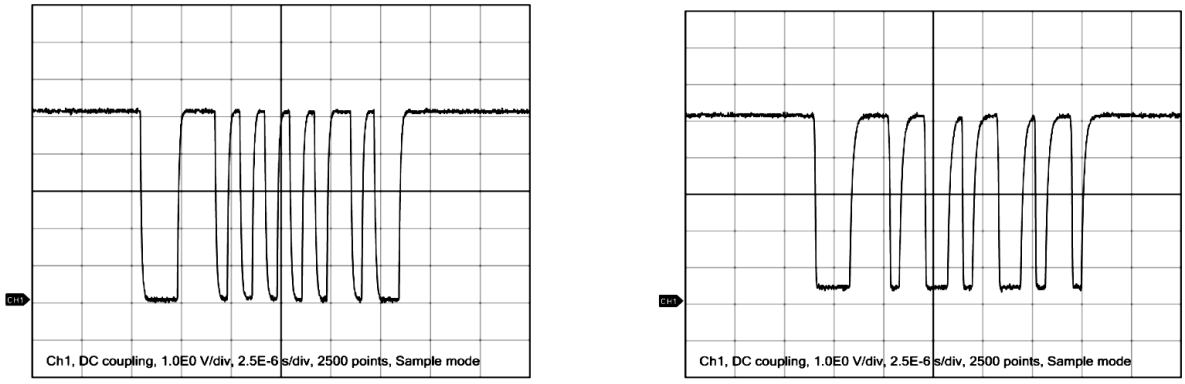
Для дослідження експериментальних характеристик реального оптично-волоконного каналу були зняті осцилограми із входів та виходів оптичних трансиверів (рис. 7, 8).

Характер спотворень сигналів на виходах ліній свідчить про те, що на комунікацію чинять негативний вплив лише такі фактори, як обмежена швидкодія оптичних елементів (час реакції випромінювача та фотоприймача) та ємності в електричних колах каналу (зменшена швидкість зміни сигналів). Спотворень іншого характеру не спостерігається.



а *б*

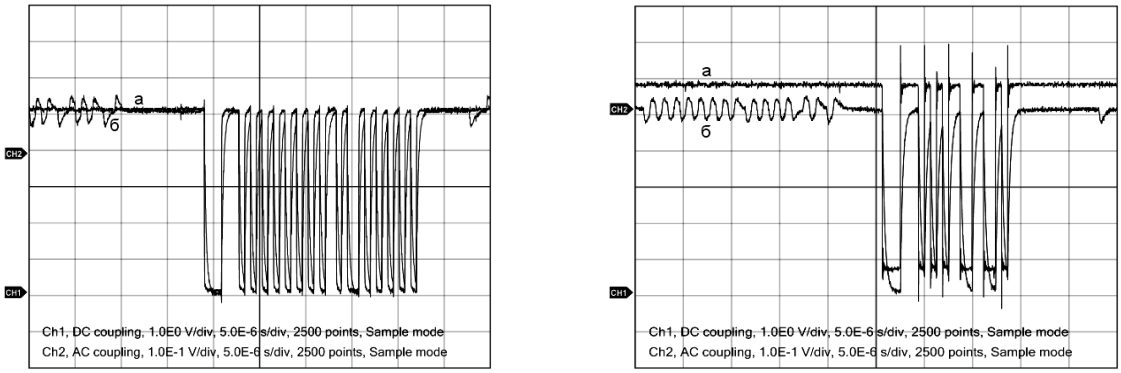
Рис. 7. Вхідні дані для системи керування: вхід оптичного трансмітера (а); вихід оптичного ресивера (б)



а *б*

Рис. 8. Вихідні дані системи керування: вхід оптичного трансмітера (а); вихід оптичного ресивера (б)

Для дослідження впливу паразитних параметрів кабелю була виконана спроба з'єднати обидва блоки перетворювача за допомогою витих пар. Після аналізу спотворень сигналу в лінії можна зробити висновок, що в каналі проявився вплив цих параметрів, помічені перехідні процеси та коливання, у кабелі виникли хвильові процеси (рис. 9). Легко бачити негативний вплив двох ліній передачі даних одна на одну. Помітно збільшення рівня завад (шуму), які наводяться на канал ззовні.



а *б*

Рис. 9. Вхідні дані (а) для системи керування (а – вхід лінії, б – вихід лінії) та вихідні дані (б) системи керування (а – вхід лінії, б – вихід лінії)

Експериментальні дослідження системи підтвердили, що найбільш вразливою до завад частиною подібного перетворювача є канал передачі даних. Проблема завад у межах одного блоку (вплив перетворювача на інтерфейсні елементи каналу) може бути усунена конструктивно та схемотехнічно: стабільність живлення та захист від завад по живленню мікросхеми логіки каналу може забезпечити стабілізатор живлення та фільтрувальні конденсатори; вірогідність збою тактування може зменшити використання трививідних екранованих кварцевих резонаторів; екранування та заземлення чутливих ліній зменшить вплив завад від самого перетворювача на ці лінії; правильне трасування та розміщення чутливих елементів схеми якомога далі від силових елементів також збільшує завадозахищеність. Проте сам канал передачі даних залишається недостатньо захищеним від завад.

У цій роботі експериментальним шляхом доведено переваги використання розробленого каналу передачі даних з новим протоколом та оптично-волоконним середовищем передачі даних. Слід зазначити, що цей експериментальний зразок – це лише один із варіантів конструкції, що обирався для цієї системи із заданого співвідношення вартості та швидкодії, проте принципи побудови подібних систем він розкриває повною мірою.

Висновки. У цій роботі вирішене актуальне наукове завдання покращення якості функціонування силових перетворювачів за рахунок розробки оптимального завадостійкого інтерфейсу передачі даних між системою керування і силовою частиною перетворювача. Для вирішення проблеми запропоновано новий інтерфейс передачі даних, що розрахований спеціально для використання у силових перетворювачах. Завадостійкий та швидкісний канал, що використовує як середовище передачі даних оптичне волокно, та досить завадостійкий протокол, який проте має меншу збитковість, ніж схожі стандартні типи, дали змогу встановити стійку комунікацію між блоками силового перетворювача.

Список використаних джерел

1. *Muhammad H.* Rashid. Power Electronics Handbook. Devices, Circuits and Applications. ACADEMIC PRESS, 2006. – 1172 p.

2. *Харкевич А. А.* Борьба с помехами / А. А. Харкевич. – Изд. второе, исправл. – М. : Наука, 1965. – 275 с.

3. *Пасковатый О. И.* Электрические помехи в системах промышленной автоматики / О. И. Пасковатый. – М. : Энергия, 1973. – 104 с.

4. *Савчук В. Л.* Электронные средства сбора, обработки и отображения информации : учеб. пособие / В. Л. Савчук. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 174 с.

5. *Кларк Дж.* Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: пер. с англ. / Дж. Кларк, Дж. Кейн. – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с. – (Стат. Теория связи).

6. *Семенов Б. Ю.* Силовая электроника: профессиональные решения / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 416 с.

7. *Денисов Ю. А*. Стабилизаторы постоянного напряжения с широтно-импульсными и частотно-импульсными квазирезонансными преобразователями / Ю. А. Денисов. – К. : Ин-т электродинамики НАН Украины, 2001. – 146 с.

УДК 662, 66-6

Ю.В. Радич, магістрант
Т.Б. Шилович, канд. техн. наук
Національний технічний університет України "КПІ", м. Київ, Україна

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ НИЗЬКОКАЛОРІЙНОГО ПАЛИВА У ВИГЛЯДІ ПИЛУ

Розглянуто процес спалювання твердого подрібненого палива у потоці. Розроблено математичну та числову моделі нестаціонарного дифузійного згоряння подрібненого твердого палива. Проведено верифікацію розробленої числової моделі теплогідродинамічного стану торф'яного пальника.

Ключові слова: *торф, подрібнене (пилоподібне) паливо, спалення у потоці, топка-реактор.*

Рассмотрен процесс сжигания твердого измельченного топлива в потоке. Разработана математическая и числовая модели нестационарного диффузионного сгорания измельченного твердого топлива. Проведена верификация разработанной числовой модели теплогидродинамического состояния торфяной горелки.

Ключевые слова: *торф, измельченное (пылевидное) топливо, сжигание в потоке, топка-реактор.*

This work shows the process of hard grinded fuel burning. The mathematical and digital models of non-standard diffusion burning are developed for this purpose. It also depicts the verification of a developed digital model of a peat-fueled burner's thermo-hydrodynamic states.

Key words: *peat, grinded fuel, burning in the flow, reactor fuelbox.*

Вступ. Україна належить до числа держав світу, які мають запаси всіх видів паливно-енергетичної сировини (нафта, природний газ, вугілля, торф, уран та ін.), але ступінь забезпеченості запасами, їх видобуток та використання неоднакові й у сукупності вони не створюють необхідний рівень енергетичної незалежності. Геологічні запаси торфу в Україні становлять близько 2,17 млрд т [6]. Унікальною властивістю цієї корисної копалини є здатність до відновлення [1]. Щорічно на торфових родовищах, збережених у природному стані, та заболочених землях утворюється близько 1,6 млн т торфу або 0,65 млн т умовного палива.

Сьогодні використання торфу стає все актуальнішим через зростання цін на енергоносії, застосування нових технологій переробки та спалювання торфу, що дозволяють автоматизувати такий процес. Україна має достатньо запасів твердого палива, перехід на яке надав би можливість зупинити зростання собівартості теплової енергії комунальної теплоенергетики та зменшити енергетичну залежність держави.

Аналіз досліджень і публікацій. Використання торфу як палива обумовлено його складом: великим вмістом вуглецю, малим вмістом сірки, шкідливих негорючих залишків та домішок. Основними недоліками цього виду палива є: невисока теплота згоряння (8,38-10,72 МДж/кг); більш низька, ніж у вугілля енергетична калорійність і труднощі спалювання за високого вмісту вологи (до 65 %). Проте цей вид палива має: низьку собівартість виробництва; екологічну чистоту згоряння (малу частку сірки); повне горіння (малий залишок золи), що робить торф перспективним джерелом отримання теплової та електричної енергії, яка є більш дешевою, ніж під час використання кам'яного вугілля і рідкого палива та більш екологічно чистою [5]. Незважаючи на це, питання щодо використання торфу як палива з розвитком сучасних технологій спалювання і застосування екологічно чистих процесів одержання енергії є недостатньо вивченим. Провідні вчені і фахівці оцінюють використання торфу як палива найбільш перспективним розвитком енергетики в наступному столітті.

Найпоширенішим способом використання торфу є спалення брикетованого торфу для отримання теплової енергії. Тому розроблення комплексу, який дозволить компле-

ксно підготувати торф до використання з максимальною ефективністю та з мінімальними витратами на його попередню підготовку, є актуальним технічним завданням.

У зв'язку з цим **метою роботи** є аналіз особливостей роботи і дослідження гідродинаміки та теплового стану топки-реактора під час спалювання твердого подрібненого торфу у потоці.

Постановка проблеми. У представленій роботі розглядається технологія спалювання твердого подрібненого палива у потоці.

Математична модель. Фізичну модель реактора для спалювання подрібненого (пилоподібного) палива можна сформулювати таким чином. Реактор складається з топки, що являє собою циліндричну обичайку, яка всередині футерована вогнеликими матеріалами, пальника для розігріву топки і підпалювання твердого палива, пальника подрібненого палива і вентиляторів (рис. 1).

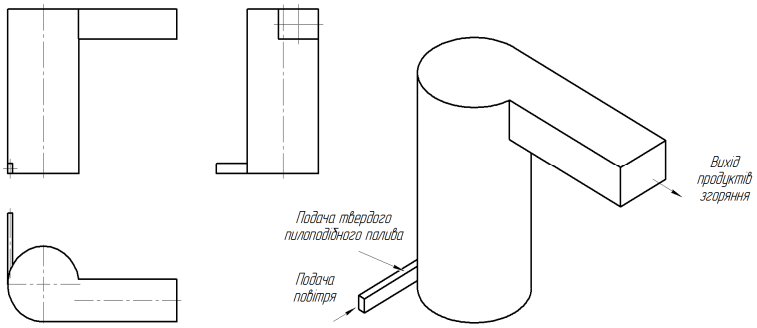


Рис. 1. Схема реактора для спалювання подрібненого палива

Робота реактора (установки) починається з підпалювання пальника розігріву, що працює на скрапленому газі. Після розігріву футеровки реактора запускається пальник твердого палива. Під час виходу на усталений режим горіння пилоподібного палива, пальник розігріву і підпалу переходить у черговий режим (тобто пальник не працює, але при необхідності підтримки процесу горіння може включатися автоматично).

Відповідно до сформульованої фізичної моделі (рис. 3) математична модель нестаціонарного дифузійного згоряння подрібненого твердого палива в турбулентному потоці може бути побудована на базі осереднених за Рейнольдсом рівнянням Нав'є-Стокса в наближенні $k-\varepsilon$ моделі з врахуванням стисливості рідини [8] і включити в себе рівняння нерозривності, збереження кількості руху, транспорту хімічних компонентів реакції горіння, енергії в ентальпійному вигляді, турбулентної кінетичної енергії і швидкості її дисипації [9]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\overline{\rho}}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\tilde{\mathbf{V}}\right)=0; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\tilde{\mathbf{V}}}{\partial\tau}+\left(\overline{\rho}\tilde{\mathbf{V}}\cdot\nabla\right)\tilde{\mathbf{V}}=-\nabla p+\nabla\cdot\overline{\overline{\tau}}_{\text{eff}}+\overline{\rho}\mathbf{g}; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\tilde{Y}_k}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\tilde{\mathbf{V}}\tilde{Y}_k\right)=\nabla\cdot\overline{\mathbf{J}}_k+\overline{\dot{\omega}}_k,\quad k=\overline{1,N}; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\tilde{h}}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\tilde{\mathbf{V}}\tilde{h}\right)=\overline{\dot{\omega}}_T+\overline{\dfrac{Dp}{D\tau}}+\nabla\cdot\left(\overline{\lambda\nabla T}+\overline{\dfrac{\mu_t}{\mathrm{Sc}_t}\nabla h}\right)+\overline{\overline{\tau}_{\text{eff}}:\left(\nabla\cdot\mathbf{V}\right)}-\nabla\cdot\overline{\left(\rho\sum_{k=1}^{N}\mathbf{J}_k h_k\right)}+E\left(\tilde{T}\right); \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}k}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\tilde{\mathbf{V}}k\right)=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\dfrac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla k\right]+G_k+G_b-\overline{\rho}\varepsilon-Y_M; \\ \dfrac{\partial\overline{\rho}\varepsilon}{\partial\tau}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho}\tilde{\mathbf{V}}\varepsilon\right)=\nabla\cdot\left[\left(\mu+\dfrac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\nabla\varepsilon\right]+\overline{\rho}C_1 S\varepsilon-\overline{\rho}C_2\dfrac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{\nu\varepsilon}}+C_{1\varepsilon}\dfrac{\varepsilon}{k}C_{3\varepsilon}G_b. \end{cases} \quad (1)$$

Перший член у правій частині рівняння енергії (1) пов'язаний з джерелом теплоти хімічної реакції, другий – з роботою тиску, третій – з теплопровідністю, четвертий – з дисипацією в'язкості, п'ятий – з дифузією компонентів хімічної реакції і шостий – з тепловим випромінюванням.

Для твердих елементів реактора система рівнянь (1) спрощується до одного рівняння енергії (теплопровідності) виду

$$\frac{\partial \rho h}{\partial \tau} = \nabla \cdot (\lambda \nabla T). \quad (2)$$

Аналіз горіння подрібненого твердого палива в реакторі ґрунтується на таких основних реакціях:

$$C + O_2 = CO_2 \text{ , } 2C + O_2 = 2CO \text{ , } CO + 0{,}5O_2 = CO_2. \quad (3)$$

Реакції (3) визначаються стехіометричними коефіцієнтами і миттєвими термодинамічними параметрами, від яких залежить їх швидкість. Турбулентне змішування реагентів є фактором, що обмежує швидкість реакції. Турбулентно-хімічна взаємодія під час горіння за реакціями (3) описується за допомогою двох моделей: перша – модель обмеженої швидкості реакції на основі закону Ареніуса [9]; друга – модель вихрової дисипації (Магнусен) [10]. У результаті використовується менше з отриманих значень за швидкістю реакції.

Числова модель. Для проведення числового аналізу гідродинаміки газових потоків, динаміки руху твердого подрібненого палива і теплового стану під час спалювання торфу у топці-реакторі виконано розроблення тривимірної числової моделі. Дискретизація тривимірної числової моделі топки-реактора для спалювання торфу представлена на рис. 2 [7; 4].

Представлена числова модель дозволяє виконувати розрахунки теплового стану пальникового обладнання при різних технологічних параметрах, зокрема при різних витратах повітря та твердого палива, а також враховувати різні фізичні властивості вихідного торфу – його вологість та вміст золи.

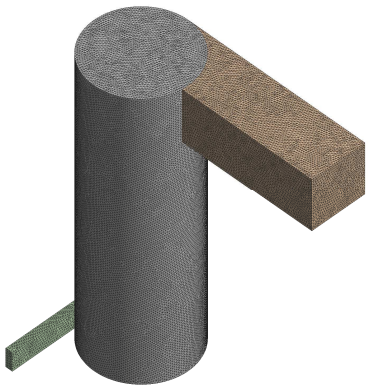


Рис. 2. Дискретизація твердотільної моделі реактора – топки для спалювання торфу ($N_{el} = 2753603$ – кількість елементів, $N_{nod} = 478524$ – кількість вузлів)

Результати роботи. Розроблено та виготовлено експериментальну установку для спалювання та сушіння торфу на підприємстві ДП «Помгазапарат». Схема сушки та подрібнення представлена на рис. 3.

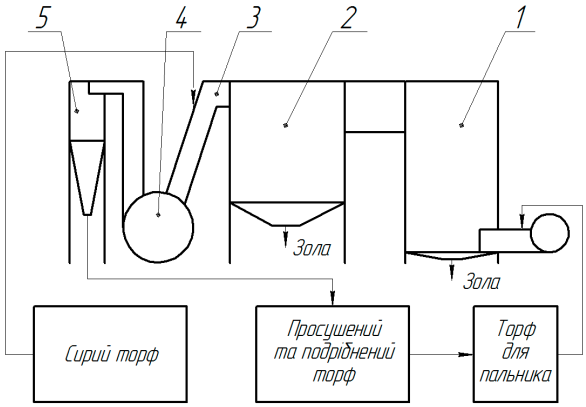


Рис. 3. Схема сушки та подрібнення вологого торфу:
1 – топка-реактор; 2 – золоосаджувальна камера; 3 – газохід; 4 – дробарка-сушарка; 5 – циклон

Торф за допомогою вентиляторів подається у топку-реактор, а разом з ним надходить і повітря, що необхідне для процесу горіння. Значні витрати повітря забезпечуються вентилятором подачі торфу та основним вентилятором. У топці-реакторі тверде паливо згоряє, виділяючи при цьому теплоту та утворюючи продукти згоряння. Далі відхідні гази надходять у пилозбірну камеру, де видаляється зола та пилоподібні залишки твердого палива. Потім димові гази надходять до газоходу, куди одночасно подається сировина – торф. Матеріал інтенсивно підсушується та надходить до дробарки-сушарки, в якій торф подрібнюється до потрібної тонини та підсушується. Отриманий кінцевий продукт відділяється від димових газів за допомогою циклону. Частина подрібненого та підсушеного торфу використовується як тверде пилоподібне паливо в торф'яному пальнику топки-реактора.

Організація ефективного процесу спалювання твердого подрібненого палива – це складне технологічне завдання. Ефективним рішенням може бути конструкція топки-реактора, яка дозволяє спалювати подрібнений торф і отримувати теплоту з одночасним видаленням золи, що утворюється у процесі горіння. Вказаним вимогам відповідає така конструкція (рис. 4).

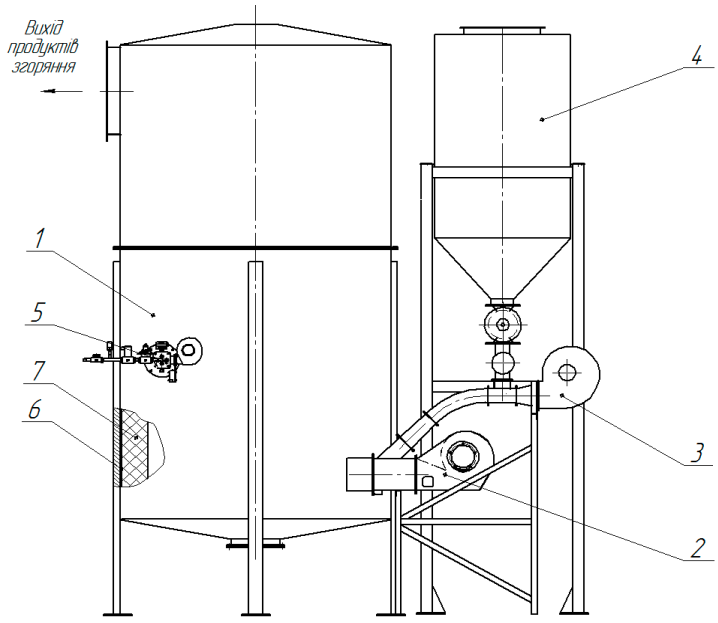


Рис. 4. Реактор для спалювання подрібненого палива (торфу, коксу):
1 – топка-реактор; 2 – вентилятор подачі повітря; 3 – вентилятор для подачі подрібненого палива; 4 – витратний резервуар з подрібненим паливом; 5 – пальник для розігріву топки і підпалювання твердого палива; 6 – сталева обичайка; 7 – вогнетривка футеровка

Топка-реактор являє собою циліндр, футерований вогнетривкими матеріалами. Тангенціально до обичайки реактора підводиться повітря та тверде паливо. Така схема приводить до того, що повітря разом з гранулами палива рухається по спіралі вздовж стінок реактора у турбулентному потоці, що підвищує ефективність процесу його горіння.

Результати числових експериментів. Розрахунки гідродинаміки та теплового стану топки-реактора під час спалювання твердого подрібненого торфу проводились при таких вихідних даних: основний вентилятор та вентилятор подачі торфу разом нагнітають повітря, яке рухається зі швидкістю v = 20 м/с; торф подається у кількості G= 0,1 кг/с; стінки топки-реактора футеровані вогнетривким матеріалом та оточені сталевою обичайкою, що віддає частину теплоти через конвективний теплообмін з навколишнім середовищем.

Аналіз отриманих даних показує в цілому високу ефективність роботи пальника для згоряння твердого палива – торфу. Результати числових експериментів показують, що під час згоряння торфу виділяється 0,96 МВт теплової енергії, вихід продуктів горіння (димових газів) становить 9648 м^3/год з температурою 846 °С.

Розроблена числова модель пройшла верифікацію на експериментальних даних, що отримані на реальному прототипі топки-реактора для спалювання твердого подрібненого палива – торфу. Результати запусків та виходу на стаціонарний режим роботи підтверджують ефективність та конкурентоспроможність цього обладнання.

Порівняння робочих параметрів, що отримані за допомогою числової моделі тепло-гідродинамічного стану топки-ректора, з даними експериментальної установки наведені у табл.

Таблиця

Результати верифікації числової моделі теплогідродинамічного стану топки-ректора на експериментальних даних, одержаних на експериментальному обладнанні для спалювання твердого подрібненого палива

Технологічні параметри	Числова модель топки-реактора для спалювання твердого палива – торфу	Експериментальна установка для спалювання твердого палива – торфу
Витрати твердого палива, кг/год	360	360
Вологість твердого палива, %	30	30
Теплова потужність, МВт	0,96	1,1
Об’єм продуктів згоряння, м^3/год	9648	12000
Температура продуктів згоряння, ° С	846	400–800
Вміст CO_2 у продуктах згоряння, %	11,5	12,1

Аналіз даних (табл.) показує узгодження між даними результатів розрахунків фізичних полів і параметрів експлуатації топки-реактора для спалювання твердого подрібненого палива – торфу з даними натурних експериментів, що були отримані на експериментальному обладнанні. Похибка розрахункових даних оцінюється в межах 5–20 %, що є цілком достатнім для виконання інженерних розрахунків режимів експлуатації топки-реактора для згоряння подрібненого твердого палива.

Висновки

1. Розроблено та виготовлено експериментальну установку для спалювання та сушіння торфу на підприємстві ДП «Помгазапарат». Результати експериментальних запусків та вихід на стаціонарний режим роботи розробленої установки підтвердили її здатність роботи та енергоефективність.

2. Розроблено математичну модель нестаціонарного дифузійного згоряння подрібненого твердого палива.

3. Розроблено числову модель топки-реактора, яка дозволяє теоретично дослідити процес спалювання подрібненого палива у потоці, вибрати конструкцію топки-

реактора, що відповідає параметрам технологічного процесу та відпрацювати раціональний регламент експлуатації обладнання.

4. Виконано верифікацію розробленої числової моделі теплогідродинамічного стану торф'яного пальника за даними натурного експерименту, яка показала, що похибка розрахункових даних оцінюється в межах 5–20 %, що є цілком достатнім для виконання інженерних розрахунків режимів експлуатації топки-реактора для згоряння подрібненого твердого палива.

5. Розроблені методики та на їх базі числові моделі теплового та гідродинамічного стану із врахуванням руху твердих частинок палива та їх горіння рекомендовано застосовувати для порівняльного аналізу енергетичної ефективності діючої і модернізованих конструкцій топки-реактора, а також відпрацьовувати раціональні технологічні регламенти його експлуатації.

Список використаних джерел

1. *Богданов Н. Н.* Полукоксование и газификация торфа / Н. Н. Богданов. – М. : Госэнергоиздат, 1947. – 268 с.

2. *Коринчук Д. М.* Исследование массовой теплоты сгорания и зольности композиционных торфяных брикетов / Д. М. Коринчук, Ю. Ф. Снежкин, В. А. Михайлик // Возобновляемая энергетика. – 2008. – № 3. – С. 76-82.

3. *Коринчук Д. М.* Исследование структурно-механических свойств композиционных брикетов на торфяной основе с использованием органических бытовых отходов / Д. М. Коринчук, В. А. Михайлик, К. О. Коринчук // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 7. – С. 53-58.

4. *Краснощеков Е. А.* Задачник по теплопередаче : учеб. пособие / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – М. : Энергия, 1969. – 264 с.

5. *ООО Строй* Неруд. Образование торфа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.nerud-m.ru/.

6. *Родовища* торфу [Електронний ресурс]. – Дата доступу : лют., 2013. – Режим доступу : http://plast.vn.ua/0104_5.html.

7. *Физические* величины : справочник / под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

8. *A New* $k-\varepsilon$ Eddy-Viscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows - Model Development and Validation / T.-H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu // Computers Fluids. – 1995. – Vol. 24, No. 3. – P. 227-238.

9. *Poinsot T.* Theoretical and numerical combustion / Thierry Poinsot, Denis Veynante. – 2nd ed. – Philadelphia : Edwards, 2005. – 522 p.

10. *Magnussen B. F.* On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion / B. F. Magnussen, B. H. Hjertager // In 16th Symp. (Int'l.) on Combustion. The Combustion Institute. – Pittsburgh, 1976 – P. 719-727.

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 621.3.095.3

І.В. Корнієнко, канд. техн. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

С.П. Корнієнко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

Запропоновано алгоритм оцінювання електромагнітного забруднення навколишнього середовища з використанням геоінформаційних систем, розглянуто порядок і умови виконання основних обчислювальних операцій.

Ключові слова: *алгоритм, електромагнітне забруднення, геоінформаційні системи, напруженість електромагнітного поля, джерела електромагнітного випромінювання.*

Предложен алгоритм оценки электромагнитного загрязнения окружающей среды с использованием геоинформационных систем, рассмотрен порядок и условия выполнения основных вычислительных операций.

Ключевые слова: *алгоритм, электромагнитное загрязнение, геоинформационные системы, напряженность электромагнитного поля, источники электромагнитного излучения.*

Evaluation algorithm of electromagnetic pollution using geoinformation systems is proposed in the article. An order and conditions of main calculating operations execution are given.

Key words: *algorithm, electromagnetic pollution, geoinformation systems, electromagnetic fields strength, electromagnetic radiation sources.*

Постановка проблеми. Завдання визначення ступеня електромагнітного забруднення територій є складовою проблеми моніторингу екологічного забруднення навколишнього середовища. Як правило, задача оцінювання електромагнітного забруднення розв'язується двома основними способами: при першому способі виконуються практичні виміри напруженості електромагнітного поля у досліджуваному просторі, що вимагає величезних витрат і тривалого часу; інший спосіб полягає у моделюванні геопростору і процесів поширення електромагнітної енергії від множини джерел електромагнітного випромінювання (ДЕМВ), що в цілому є складною обчислювальною задачею. Застосування геоінформаційних технологій може суттєво спростити завдання побудови моделі оцінювання і прогнозування зон електромагнітного забруднення геопростору, проте аналітичний апарат існуючих геоінформаційних систем (ГІС) не адаптований до розв'язування задач такого класу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням біологічного впливу електромагнітного випромінювання на організм людини та біосферу в цілому присвячено багато наукових праць зарубіжних, радянських, пострадянських і вітчизняних авторів, серед яких: Adey W., Sheppard A., Blank M., Goodman E., Greenebaum B, Marron M., Simon N., Думанський Ю.Д., Дев'ятков Н.Д., Антипов В.В., Давидов Б.І., Тихончук В.С., Госьков П.І., Беккер В.Н., Шамов Ю.А., Грачов Н.Н., Копанев В.І., Шакула А.В., Пресман А.С., Сомов А.Ю., Макаров В.З., Прольоткін І.В., Чумаченко А.Н., Григор'єв Ю.Г., Григор'єв О.А., Голант М.Б., Бецький О.В., Муратов Є.І., Холодов Ю.А., Лебедєва Н.Н., Хейфец Л.І. та багато інших. Питання комп'ютерного моделювання та кількісного визначення впливу електромагнітного випромінювання досліджували у своїх роботах Статюха Г.О., Бойко Т.В., Вишнівський О.В., Федонюк М.А., Федонюк А.А., Фесюк В.О., Панькевич С.Г., Глива В.А., Левченко Л.О. та інші. Проблеми застосування ГІС для розв'язування задач оцінювання електромагнітного забруднення територій висвітлювали у своїх роботах Потапов О.О. [1], Довбиш В.Н., Сівков В.С., Сподобаев Ю.М. [2; 3], Сомов А.Ю., Макаров В.З., Прольоткін І.В., Чумаченко А.Н. [4] та інші.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У [5] сформульований підхід до геоінформаційного оцінювання електромагнітного забруднення, який полягає у використанні існуючих об'єктних моделей геоінформаційного простору для моделювання процесів поширення електромагнітних хвиль з подальшим визначенням напруженості електромагнітного поля у досліджуваній сфері. Подібне моделювання вимагає розроблення загального алгоритму проведення обчислень і використання баз просторових даних з урахуванням множини ДЕМВ, їх просторових і параметричних характеристик, властивостей і характеристик геопростору, а також критеріїв і цілей проведення оцінювання. Отже, розроблення алгоритму оцінювання електромагнітного забруднення територій є актуальним науковим завданням.

Мета статті – розроблення алгоритму оцінювання рівня електромагнітної енергії від множини ДЕМВ.

Виклад основного матеріалу. Досліджуваний простір $G = \{(x, y, z); (x, y, z) \in R^3\}$, де R^3 – просторова система координат, характеризується наявністю множини джерел електромагнітного випромінювання $S = \{s_1, s_2, ..., s_n\}$. Кожне s_i-те ДЕМВ має дві групи характеристик: просторові характеристики ДЕМВ в області G: $s_i^G(x_i, y_i, z_i)$ і параметричні характеристики, які визначають рівень випромінювання електромагнітної енергії $s_i^E \in \{e_i^1, e_i^2, ..., e_i^m\}$. Відомості про множину ДЕМВ зберігаються у базі просторових даних. Необхідно розробити алгоритм оцінювання рівня електромагнітної енергії від множини ДЕМВ S у дискретних точках простору $g_j(x_j, y_j, z_j)$.

Оцінювання рівня електромагнітного забруднення передбачає виконання певних технологічних операцій, а саме: введення початкових даних, попередньої обробки вихідних даних, проведення обчислень рівнів потужності електромагнітної енергії від множини ДЕМВ у дискретних точках простору, перевірки відповідності результату обчислень емпірично-одержаним даним, інтегрування значень обчислень для множини просторово-розподілених ДЕМВ, згортки значень електромагнітного забруднення для різних частотних діапазонів, оцінювання рівня забрудненості територій.

Блок-схема алгоритму оцінювання рівня електромагнітного забруднення просторової області G зображена на рисунку.

Операції введення вихідних даних передбачають введення в ГІС меж просторової області оцінювання G, фіксованої висоти оцінювання для області оцінювання $z_j = z_0$ та кроку дискретизації оцінюваного простору Δg, на основі чого здійснюються запити до відповідних баз даних, вибірка характеристик земної поверхні G_M та матриці рельєфу області оцінювання G_h, а також вибірка просторових та параметричних характеристик ДЕМВ. Характеристики області оцінювання повинні зберігатися в об'єктній базі просторових даних, першоджерелом яких можуть бути, наприклад, базові набори геопросторових даних національної інфраструктури геопросторових даних. База даних просторових та параметричних характеристик ДЕМВ може формуватися на основі інтеграції даних організацій, які виконують функції контролю та надання дозволу на використання випромінюючих засобів, провайдерів послуг радіозв'язку та електропостачання, нормативно-технічної інформації розробників та виробників ДЕМВ.

База даних моделей поширення електромагнітних хвиль $W_M = \{w_1, w_2, ..., w_k\}$ містить набір стандартизованих моделей обчислення рівня послаблення електромагнітної енергії під час поширення у просторі, який визначається набором характеристик G_M геоінформаційної моделі земної поверхні та матриці рельєфу G_h.

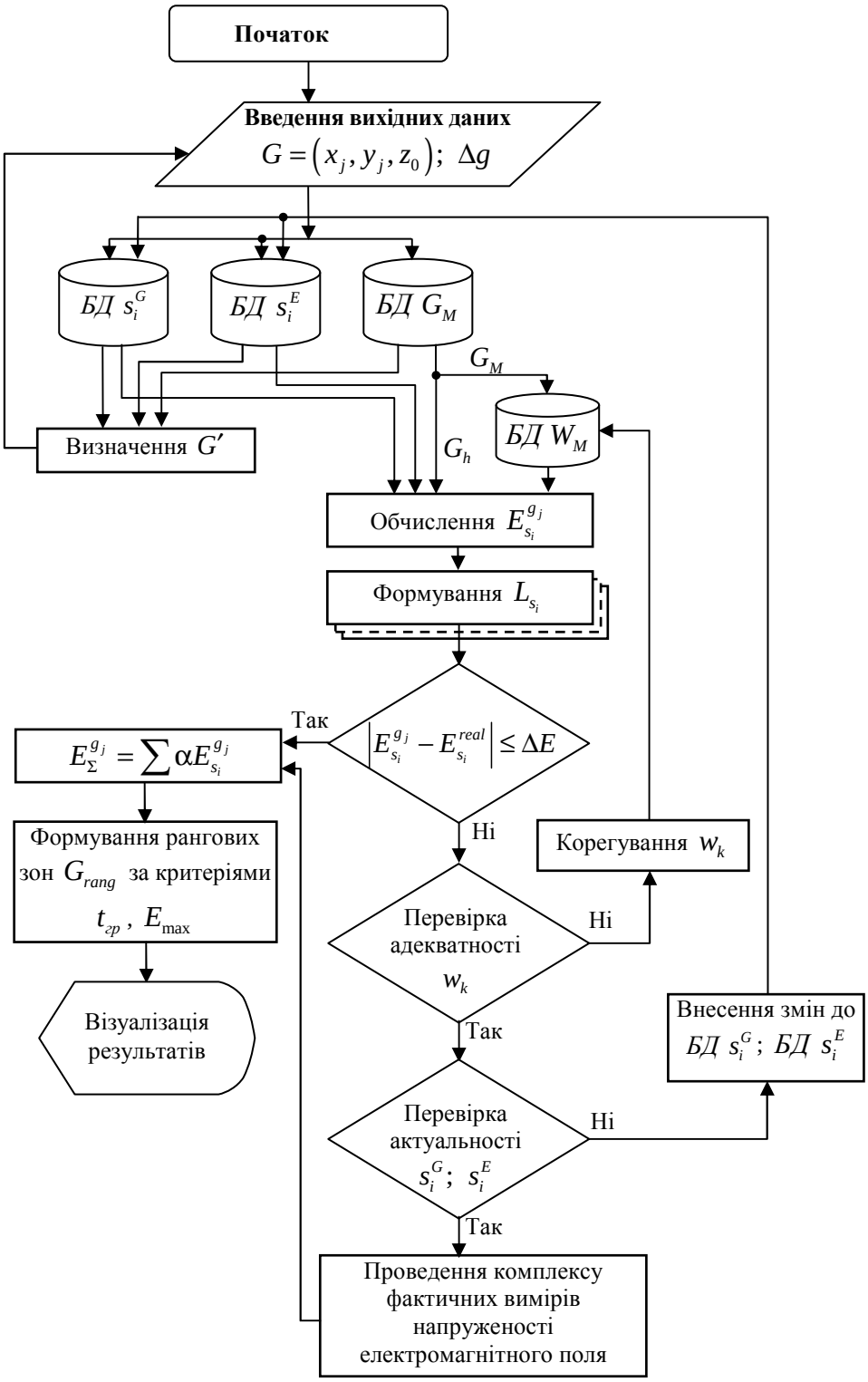


Рис. Блок-схема алгоритму оцінювання електромагнітного забруднення територій

Особливістю прогнозування електромагнітного забруднення території є можливість розташування ДЕМВ поза межами оцінюваного району, які при цьому здатні впливати на рівень електромагнітного забруднення. Тому під час оцінювання забруднення необхідно здійснювати вибірку з баз даних і здійснювати відповідні обчислення на територіях G', дещо більших, ніж задані межі вихідного оцінюваного району G. Потенційна віддаленість ДЕМВ $d = \left(s_i^E, r_i^G\right)$ від району оцінювання, які впливають на забрудненість терито-

рій G, визначається характеристиками випромінювання i-го ДЕМВ (потужність і частота випромінювання, характеристики антен) та рівнем послаблення на трасі поширення електромагнітних хвиль від i-го ДЕМВ до оцінюваного району G. Відповідне визначення меж району G' вимагає наближених попередніх обчислень, для скорочення яких можна обирати лише найпотужніші ДЕМВ і використовувати модель поширення електромагнітних хвиль з найменшим послабленням, що відповідає умовам найгіршого випадку.

На основі обчислених меж G' здійснюються повторний запит до баз даних і вибірка геоінформаційних моделей об'єктів, які розташовані в області G', а також їх характеристик. Набір характеристик земної поверхні G_M області G' є основою для вибору моделі поширення електромагнітних хвиль w_k. Обчислення рівнів електромагнітного поля $E_{s_i}^{g_j}$ здійснюється для всіх s_i у дискретних точках простору g_j з використанням матриці рельєфу G_h для заданих висот аналізу z_j. Результат обчислень формує окремий шар L_{s_i} значень випромінювань s_i-го ДЕМВ. Окремо слід зауважити, що кожний L_{s_i} шар, крім значення напруженості електромагнітного поля в конкретній точці простору може нести інформацію про смугу частот, у якій відбувається електромагнітне забруднення, спектральну щільність та маску електромагнітного випромінювання або інші специфічні параметри електромагнітного випромінювання.

Для перевірки достовірності розрахункової оцінки електромагнітного забруднення обчислені значення $E_{s_i}^{g_j}$ порівнюються з фактичними контрольними вимірами рівня електромагнітного поля $E_{s_i}^{real}$ в певних точках простору g_r, при цьому різниця обчислених і виміряних значень не повинна перевищувати певного граничного значення похибки обчислень ΔE. Під час проведення перевірки може спостерігатися розбіжність координат точок, в яких здійснюється обчислення напруженості електромагнітного поля g_j і точок фактичних вимірів g_r, що вимагає розв'язування додаткової задачі вибору найближчої до g_r точки g_j. Актуалізація даних фактичних контрольних вимірів здійснюється відповідними органами контролю за використанням радіочастотного ресурсу або провайдерами послуг у ході регламентно-технічних робіт.

У позитивному випадку перевірки достовірності оцінювання, тобто відповідності обчислених значень напруженості електромагнітного поля фактично виміряним значенням, у дискретних точках простору g_j здійснюється складання напруженостей електромагнітних полів різних діапазонів і різних ДЕМВ $E_{\Sigma}^{\Delta g} = \sum \alpha E_{s_i}^{\Delta g}$, де α – коефіцієнт "шкідливості" частоти електромагнітного випромінювання для біологічного організму. У негативному випадку здійснюються перевірка і корегування моделі поширення електромагнітних хвиль w_k, перевірка і корегування бази даних ДЕМВ s_i^G або їх характеристик випромінювання s_i^E. У найгіршому випадку, якщо корегування моделі поширення і характеристик ДЕМВ не дають позитивного результату, необхідно провести комплекс фактичних вимірювань напруженості електромагнітного поля у зонах перевищення похибки ΔE гранично допустимого значення з подальшою інтерполяцією результатів.

На основі обчислених сумарних значень напруженості електромагнітного поля $E_{\Sigma}^{\Delta g}$ формуються рангові просторові зони відповідно до одного з заданих критеріїв, якими можуть бути, наприклад, граничний час перебування в зоні $t_{гр}$ або максимально допустимий рівень напруженості електромагнітного поля $E_{\max}$. Сформовані рангові зони характеризують потенційну електромагнітну небезпеку, в яких сумарне електромагнітне поле

перевищує нормативні показники. Під час візуалізації результатів моделювання для більшої наочності рівня електромагнітного забруднення доцільно формування поверхні рівнів напруженості електромагнітного поля.

Немаловажним чинником успіху реалізації запропонованого алгоритму є створення і використання об'єктно-орієнтованих моделей геоінформаційного простору. Важливість точного і повного опису властивостей реальних об'єктів обумовлена різним ступенем їх впливу під час поширення електромагнітної хвилі. При цьому важливим є не тільки опис геометричних характеристик об'єкта, але й хімічні, біологічні, фізичні властивості, від чого залежить, наприклад, рівень послаблення хвилі або коефіцієнт відбиття. Також завдяки створюваним об'єктним моделям можна характеризувати рівень біологічної небезпеки та забрудненості безпосередньо у середині об'єктів (будівлях, лісопаркових зонах тощо).

Висновки і пропозиції. Запропонований алгоритм геоінформаційного оцінювання електромагнітного забруднення територій є основою геоінформаційної системи оцінювання електромагнітного забруднення, яка може бути реалізована як окремий програмний модуль у складі потужних пакетів програмних геоінформаційних продуктів (наприклад ArcGIS), так і окремим геоінформаційним додатком.

Обов'язковим для реалізації алгоритму є використання баз просторових даних, джерелом яких може виступати національна інфраструктура геопросторових даних, бази даних органів контролю за використанням радіочастотного ресурсу і провайдерів послуг. В алгоритмі передбачені операції перевірки аналітичних обчислень завдяки порівнянню отриманих результатів із значеннями контрольних вимірів. Передбачено просторове і частотне інтегрування результатів обчислень для множини джерел електромагнітного випромінювання. Розроблювана геоінформаційна система оцінювання електромагнітного забруднення може бути використана як публічний геоінформаційних сервіс, прикладне забезпечення для вирішення соціально-економічних питань, складова частина геоінформаційної системи управління радіочастотним ресурсом або геоінформаційна система моніторингу екологічного забруднення навколишнього середовища.

Список використаних джерел

1. *Потапов А. А.* Методы радиофизического моделирования с использованием геоинформационных систем в обеспечении электромагнитной безопасности урбанизированных территорий / А. А. Потапов, А. В. Турчанинов, А. Ф. Королев // Экология урбанизированных территорий. – 2007. – № 1. – С. 57-62.

2. *Довбыш В. Н.* Визуализация электромагнитной обстановки, создаваемой телекоммуникационными техническими средствами, расположенными на больших территориях / В. Н. Довбыш, В. С. Сивков, Ю. М. Сподобаев // Научно-технический и теоретический журнал «Антенны». – 2006. – № 10 (113). – С. 58-62.

3. *Довбыш В. Н.* Цифровая электромагнитная модель местности / В. Н. Довбыш, В. С. Сивков // Научно-технический и информационно-аналитический журнал «Инфокоммуникационные технологии». – 2007. – № 1. – С. 85-88.

4. *Применение* геоинформационных технологий для анализа и регулирования электромагнитного загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс] / А. Ю. Сомов, В. З. Макаров, И. В. Пролеткин, А. Н. Чумаченко ; Саратовский государственный университет. Отдел геоинформационных систем Поволжского регионального центра новых информационных технологий. – Режим доступа : http://ogis.sgu.ru/ogis/gis_otd/publ17.htm.

5. *Корнієнко І. В.* Використання ГІС в задачах моніторингу електромагнітного забруднення навколишнього середовища / І. В. Корнієнко, Ю. С. Сімакін // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землекористування – європейський досвід : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2011. – С. 152-159.

УДК 65.011.56

М.В. Міщенко, канд. техн. наук
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПОЛИВУ

Запропоновано схему автоматичного поливу з урахуванням норм поливу, комфортних температурних показників води та науково обґрунтованого часу поливу рослин у добу.

Ключові слова: *автоматична система поливу, блок керування, насосна станція, фотоелемент, електромеханічне реле.*

Предложено схему автоматического полива с учётом норм полива, комфортных температурных показателей воды и научно обоснованого времени полива растений в сутки.

Ключевые слова: *автоматическая система полива, блок управления, насосная станция, фотоэлемент, электромеханическое реле.*

The scheme of automatic watering with provision for the rate of watering, comfortable warming - up data of water and scientific - grounded time of watering plants in a day and night has been proposed.

Key words: *automatic system of watering, controller, pumping station, photocell, electro – mechanical relay.*

Постановка проблеми. Зміна кліматичних умов на планеті у сторону потепління змушує все частіше використовувати штучний полив сільськогосподарських угідь для отримання гарантованих результатів росту та урожайності рослин.

Мета роботи. Запропонувати систему автоматичного поливу для господарств різної форми власності з урахуванням науково обґрунтованих правил і норм.

Виклад основного матеріалу. Рослини складаються в основному з води, з неї вони отримують головні елементи свого живлення – кисень та водень. Вода необхідна рослинам і для засвоєння інших поживних речовин, а також для транспортування органічних сполук, що утворюються у рослині.

За своїм призначенням поливи розділяються на передпосадкові, посадкові, провокаційні, вегетаційні, освіжаючі, вологозарядні і противозаморозкові.

Передпосадкові поливи виконують перед посівом, коли земля суха і посіяне насіння без попереднього поливу може дати поганий приріст або зовсім не прорости. Такі поливи бажані перед висадкою рослин для того, щоб руйнувати грудки землі і таким чином полегшити посадку рослин. Поливи проводять за 10-15 годин до посіву або висадки поливною нормою не менше 450-500 $м^3$/га.

Провокаційні поливи виконують на забруднених землях за два тижні до посіву пізніх культур для того, щоб стимулювати ріст бур'янів і потім культивуванням їх знищити. Поливна норма 450-500 $м^3$/га.

Посадкові поливи виконують під час висадки рослин (без поливу рослини садять тільки в дощову погоду). Поливна норма 250-300 $м^3$/га.

Вегетаційні поливи слугують для підтримання оптимального водного режиму в ріллі у період росту і плодоносіння рослин. Повторюють їх через такі інтервали часу, щоб не спровокувати рідинного недоліку, не затримувати ріст і розвиток рослин. Одночасно з поливом залежно від розвитку рослин роблять підживлення. Поливна норма 250-300 $м^3$/га.

Освіжаючі поливи виконують у суху, жарку погоду в проміжках між основними поливами. Такі поливи підвищують вологість повітря, знижують його температуру, що сприяє умовам життєдіяльності рослин. Поливна норма на один полив 15-30 $м^3$/га.

Вологозарядні поливи необхідні восени після обробки на тих полях, де навесні будуть посажені ранні культури. Полив восени робить запас рідини в землі, який у подальшому забезпечить гарантований ріст рослин у початковий період. Норма води при вологозарядному поливі повинна бути до 1000 $м^3$/га. Противозаморозкові поливи роблять перед настанням весняних і осінніх заморозків. Вони зменшують негативний вплив на рослини низької температури повітря. Поливна норма 50-100 $м^3$/га. Поливати рекомендується відстояною водою з ємності, за рахунок чого вода отримує температуру, яка дорівнює температурі навколиш-

нього середовища, що є дуже комфортною для рослин. Полив виконують рано-вранці, коли вітер слабкий і зменшується випаровування води. Полив, коли на дворі жарко, не бажаний, тому що це може призвести до опіку листя рослин. Відсутність прямих сонячних променів виключає ефект лінзи і, як наслідок, не стає на заваді рослинам. Полив у вечірній час також не бажаний. Вірогідність виникнення хвороб у рослин набагато вища при тривалому зволоженні, а особливо влітку в нічний час [1]. Таким чином, можна зробити висновок, що полив – це багатозатратний процес, який вимагає не тільки людської праці, а і води, якої дедалі стає все менше. Для полегшення людської праці та економнішого використання води доцільно використовувати автоматичну систему поливу (рис. 1), яка складається з ємності для води *1*, датчика нижнього рівня води *2*, гідравлічного закриваючого клапана *3*, фотоелемента *4*, блока системи керування *5*, розпилювачів води *6*, насосної станції *7*.

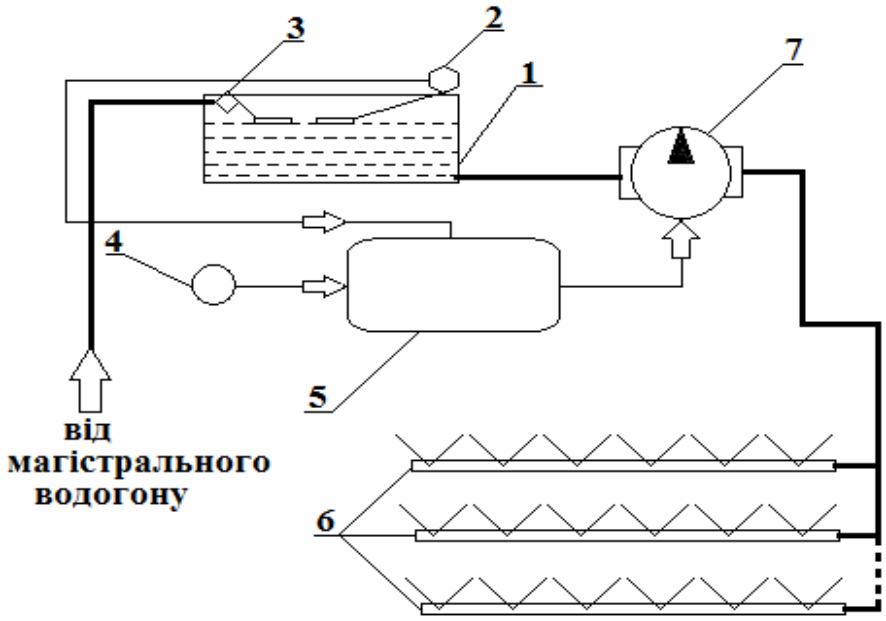


Рис. 1. Принципова схема автоматичного поливу

Працює схема таким чином: вода від магістрального водогону поступає в ємність *1* через гідравлічний закриваючий клапан поплавкового типу *3*. Під час наповнення ємності до максимального рівня закриваючий клапан вступає в дію і подальше постачання води в ємність припиняється. Вода у заповненій таким чином ємності прогрівається до температури навколишнього повітря, що благотворно сприяє на розвиток рослин і випорожнюється до мінімального рівня, який контролюється датчиком мінімального рівня *2* – поплавкового типу, за допомогою насосної станції *7*. Насосна станція *7* вмикається і вимикається за програмою, яку задає блок системи керування *5*. Фотоелемент *4* надсилає сигнал до блока керування про період доби – день або ніч, в якому сигнал аналізується і залежно від якого спрацьовує система. Вода по трубопроводах поступає до рослин і розпилюється за допомогою розпилювачів *6*.

Основою системи автоматичного поливу є блок керування 5 (рис. 2), який складається з модуля A1, електромеханічних реле P1 – P5, резисторів R1 – R4, діодів VD1 – VD13, транзистора VT1, трансформатора TR1, запобіжника PR1, вимикачів VK1 і VK2, конденсатора C1, модуля стабілізації напруги A2, входу живлячої напруги S1 та виходу керуючої напруги S2.

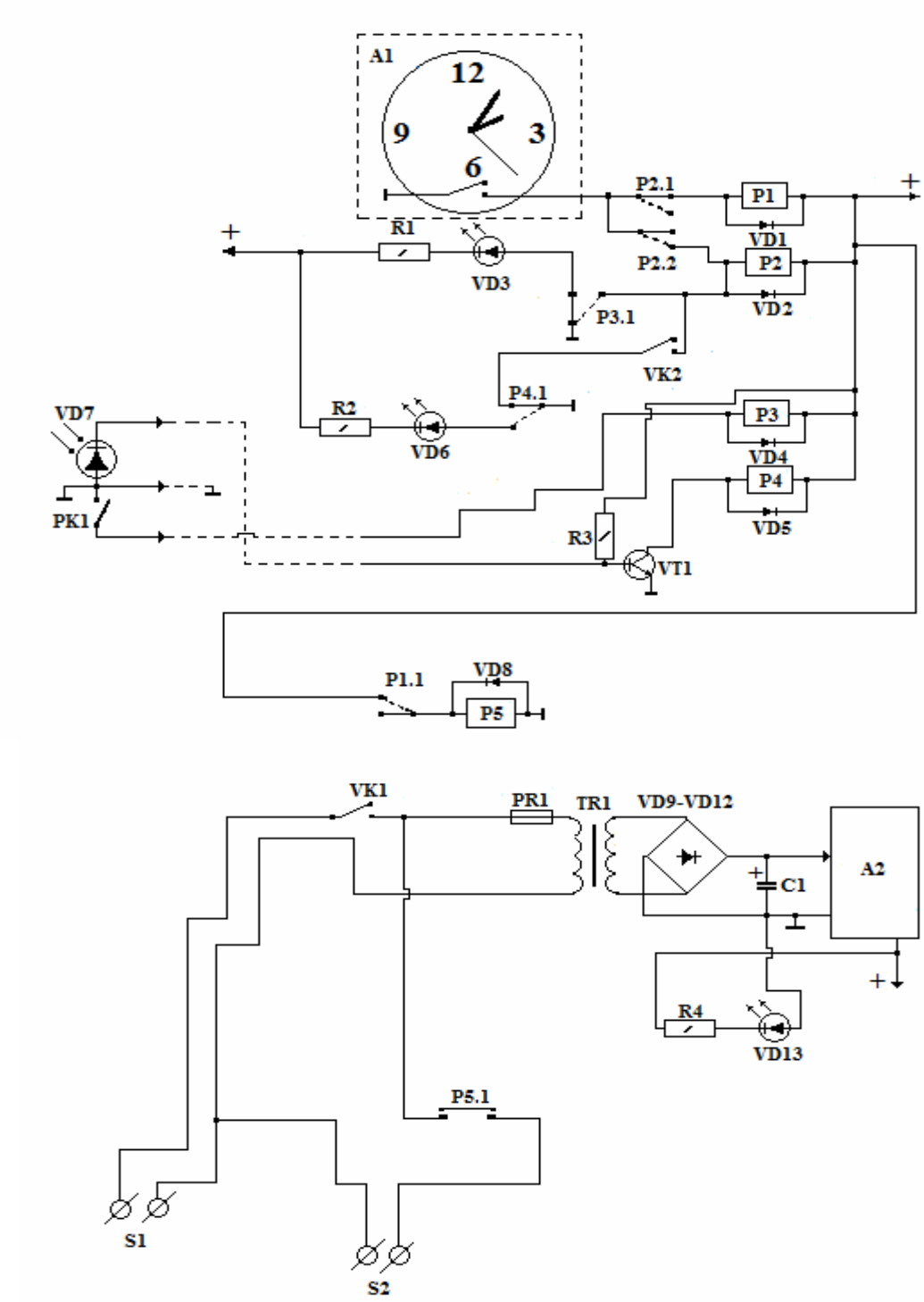


Рис. 2. Блок керування

Через вхід S1 при включеному вимикачеві VK1, минаючи запобіжник PR1, – живляча напруга з'являється на первинній обмотці трансформатора TR1 і на керуючих контактах реле P5, при цьому напруги на виході S2 немає. Із вторинної обмотки трансформатора TR1 понижена змінна напруга надходить до діодів VD9 - VD12, де спрямляється і далі йде до модуля стабілізації напруги A2. Конденсатор C1 потрібний для зменшення пульсацій напруги. Стабілізована напруга з модуля A2 надходить далі в схему блока, про що свідчить випромінювання світловипромінюючого діода VD13, який через резистор R4 з'єднаний з виходом модуля A2.

Модуль А1 задає час поливу за допомогою годинникового механізму з функцією будильника. Час початку поливу встановлюють заздалегідь за допомогою клавіш керування будильником.

Коли спрацьовує будильник у модулі А1, керуючий сигнал подається до контактів реле Р2.1, які є замкнені, і далі на обмотку реле Р1, а також до розімкнених контактів Р2.2.

Спрацьовує реле Р1 і своїми контактами Р1.1 подає напругу на реле Р5, яке, у свою чергу, спрацьовує і через контакти Р5.1 подає керуючу напругу до виходу S2, а далі напруга подається до насосної станції *7*, яка вступає в дію.

Насосна станція буде працювати до того часу, поки не розімкнуться контакти в модулі А1 (приблизно цей час дорівнює 55 хвилинам) або не замкнуться контакти датчика поплавкового типу мінімального рівня води в резервуарі.

Під час замикання контактів датчика мінімального рівня води в резервуарі сигнал поступає до обмотки реле Р3, яке спрацьовує і своїми контактами Р3.1 подає напругу на обмотку реле Р2. При цьому світловипромінюючий діод VD3, з'єднаний через резистор R1 до виходу модуля А2, сповіщає про відсутність води.

Реле Р2 спрацьовує і своїми контактами Р2.1 відключає обмотку реле Р1, яке, у свою чергу, своїми контактами Р1.1 відключає обмотку реле Р5, а це означає виключення контактів Р5.1 і виходу напруги S2 до насосної станції. Полив закінчується.

Контакти реле Р2.2 підключають обмотку реле Р2 до маси через модуль А1. У такому стані блок керування буде знаходитись доти, доки буде йти сигнал з модуля А1. Як тільки сигнал з модуля А1 зникне, система стане в первісний стан.

Для того, щоб блок управління спрацьовував у найкращий час для рослин, а це, як свідчить література, рано-вранці – до блока автоматизованого керування введений фотодіод VD7, який реагує на світло і сигнал, з якого подається на базу транзистора VT1. Базу транзистора VT1 також підключено через резистор R3 до стабілізуючої напруги з модуля А2.

При недостатній освітленості фотодіода VD7 через нього протікає малий струм і транзистор VT1, відкритий через резистор R3, при цьому спрацьовує реле Р4, обмотка якого підключена до колектора транзистора. Контакти реле Р4.1 перемикаються і напруга подається на світловипромінюючий діод VD6, який сповіщає про темну пору доби.

Якщо світла достатньо, то через фотодіод VD7 протікає достатній струм, транзистор VT1 закривається, реле Р4 відключається і через замкнуті контакти реле Р4.1 маса підключається до вимикача VK2. Якщо вимикач VK2 виключений, то блок керування від модуля А1 буде спрацьовувати два рази на добу, незважаючи на період доби. Але, якщо вимикач VK2 ввімкнений, на обмотку реле Р2 буде подаватись напруга і контакти Р2.1 будуть розімкнені, внаслідок чого буде відключена обмотка реле Р1, а це означає, що обмотка реле Р5 також буде відключена і з виходу S2 напруга на насосну станцію подаватись не буде, тобто автоматизована система поливу працювати не буде. Також при достатній кількості світла, яку сприймає фотодіод VD7, закривається транзистор VT1, виключається обмотка реле Р4 і переключаються контакти Р4.1, блокуючи роботу блока автоматичного керування у світлий період доби. В такому стані блок автоматичного управління буде спрацьовувати один раз в темний період доби.

Діоди VD1, VD2, VD4, VD5, VD8 призначені для роботи сумісно з обмотками реле Р1 – Р5.

Для збільшення часу поливу модулем А1 можна скористатись схемою на рис. 3, підключивши паралельно два годинникових механізми, при цьому за допомогою клавіш керування будильником початок поливу встановлюють на одному з механізмів, а на другому механізмі за допомогою також клавіш керування будильником час спрацьовування механізму будильника зміщують на 55 хвилин вперед. При такій схемі підклю-

чення в модулі (А1.1) час роботи автоматичної системи поливу збільшується до 110 хвилин. Використовуючи паралельну схему підключення годинникових механізмів в модулі А1, можна задати потрібний час поливу.

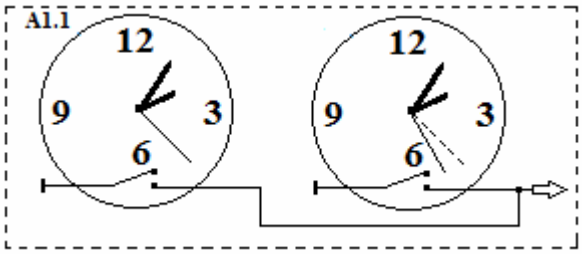


Рис. 3. Модуль блока керування

Загальний вигляд блока керування автоматичної системи поливу зображений на рис. 4, в якому *1* – модуль блока керування А1.1, *2* – блок керування автоматичної системи поливу.

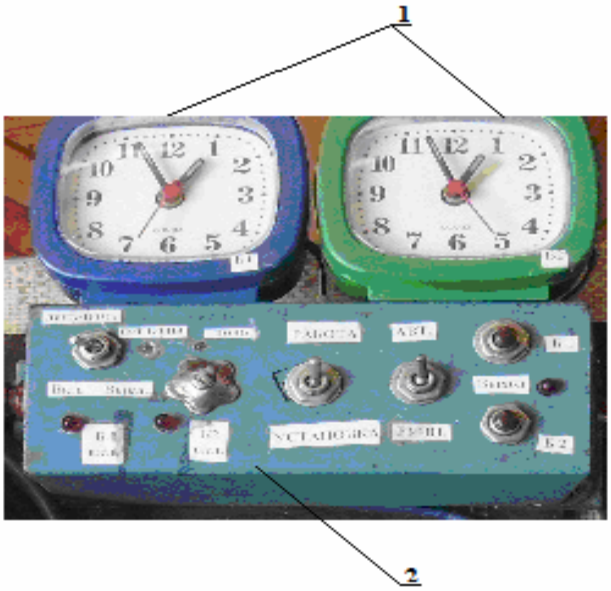


Рис. 4. Загальний вигляд блока керування

Висновок. Система була випробувана і показала за тривалий час роботи свою надійність і ефективність.

Список використаних джерел

1. *Система* автоматического полива [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www:intex-u.ru/sistematicheskogo-poliva.

2. *Полупроводниковые* приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы : справочник / под общ. ред. Н. Н. Горюнова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 743 с.

УДК 331.454

Т.М. Таірова, канд. хім. наук
ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», м. Київ, Україна

ІМОВІРНІСНИЙ МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

Пропонується використання математичних методів (зокрема, закону Пуассона) для прогнозування ймовірності настання нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на виробництвах хімічного комплексу.

***Ключові слова**: ризик, травматизм, ймовірність, математична модель, прогнозування.*

Предложено использование математических методов (в частности, закона Пуассона) для прогнозирования вероятности возникновения несчастных случаев с тяжелыми последствиями и смертельным исходом на предприятиях химического комплекса.

***Ключевые слова**: риск, травматизм, вероятность, математическая модель, прогнозирование.*

The use of mathematical methods (in particular, law of Poisson) is offered for forecasting probability of origin of accidents with heavy consequences and mortal end on the enterprises of chemical complex.

***Key words:** risk, traumatism, probability, mathematical model, forecasting.*

Постановка проблеми. Підприємства хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості (далі – хімічний комплекс), займають провідне місце за обсягом виробництва продуктів основної хімії та хімії органічного синтезу. На цих підприємствах зосереджені об’єкти підвищеної небезпеки, тобто такі об’єкти, на яких використовуються, виготовляються та зберігаються одна або кілька небезпечних речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, та які є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру, розвиток якої може призвести до травмування працівників підприємств, та тих, хто мешкає у зонах можливого ураження ("третіх осіб") [1]. Найбільш потенційно небезпечними є великотоннажні виробництва неорганічних речовин (добрива, хлор, аміак, кислоти), нафтопереробні та газопереробні заводи, виробництва продуктів органічного синтезу й об’єкти, що використовують хлор та аміак.

Одним із факторів, що обумовлює небезпечність об’єктів хімічного комплексу, є високий рівень спрацьованості основних фондів, застосуванням застарілих систем протиаварійного захисту та потенційно небезпечних технологічних процесів. Ймовірність виникнення інцидентів, аварійних ситуацій на підприємствах хімічного комплексу щороку зростає та віддзеркалюється рівнем виробничого травматизму. За рівнем ризику загального травматизму хімічний комплекс займає 14 місце серед інших галузей економіки. Хоча в останні роки спостерігається зниження рівня травмованих на виробництві, але все ж таки проблема виробничого травматизму в галузі залишається гострою та потребує підвищеної уваги. Викликає занепокоєння той факт, що останнім часом зростає тяжкість нещасних випадків: відносний показник втрати працездатності в 2011 році на підприємствах хімічного комплексу на одного травмованого (коефіцієнт тяжкості) зріс на 21 % порівняно з попереднім роком. Залишається високим показник працюючих у шкідливих та особливо шкідливих умовах праці. Так, у хімічному комплексі в умовах, що не відповідали санітарно-гігієнічним нормативам, в 2011 році працювало 61,2 тис. осіб, з них 31,5 тис. осіб на нафтопереробних підприємствахта 39,5 % – на хімічних [2].

Аналіз досліджень і публікацій. З метою попередження надзвичайних ситуацій та планування запобіжних заходів оперативного реагування на підприємствах хімічного комплексу проводиться прогнозне оцінювання ризику виникнення аварій та інших джерел небезпек на основі імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) з використанням логіко-імітаційних моделей. Цій проблемі присвячено багато публікацій у вітчизняних та іноземних виданнях. Методологічні та теоретичні аспекти кількісного оцінювання ризику аварій на об’єктах хімічної промисловості та небезпечних промислових об’єктах нафтогазового комплексу з визначенням ймовірностей виходу вражаючих факторів за межі санітарно-захисних зон, а

також наслідки їх впливу на населення та навколишнє середовище представлено в роботах М.В. Лисанова, С.М, Ликова, А.І. Гражданкіна, А.С. Печеркіна, В.І. Сидорова, Ю.Г. Матвієнко, [3] та Є.А. Грановського, В.В. Бєгуна, В.М. Науменко [4; 5]. Кожен із зазначених авторів висвітлює різні аспекти цієї проблематики.

Виділення невирішених питань. Однією з передумов виникнення аварій та аварійних ситуації на підприємствах хімічного комплексу є ланцюг причинно-обумовлених подій, пов'язаних з помилками, несанкціонованими діями працюючих, відмовами та несправностями обладнання, які порушують функціонування системи «людина-машина-середовище». Активним компонентом такої системи є працівник, помилкові дії якого можуть призвести до виникнення аварійної ситуації або нещасного випадку. Оскільки небезпечні події причинно-обумовлені, необхідно прогнозувати та оцінювати ступінь невизначеності, яка закладена в умовах появи нещасних випадків на виробництві. Однак кількісне оцінювання ступеня випадковості виникнення нещасних випадків недостатньо досліджене.

Мета статті. Метою роботи є прогнозування ймовірності виникнення нещасних випадків з тяжким та смертельним наслідками на підприємствах хімічного комплексу з використанням методів математичної статистики та теорії ймовірності.

Виклад основного матеріалу. Аналіз виробничого травматизму показує, що нещасні випадки стаються у випадкові моменти часу і їх можна представляти як послідовність однорідних випадкових подій. Оскільки травматизм має масовий характер, випадкові значення його показників можуть бути досліджені методами математичної статистики та теорії ймовірності, згладжені і виражені певною функціональною залежністю лінійною, експоненціальною. Використання ймовірнісних методів прогнозування травматизму дозволяє отримати кількісну оцінку міри випадковості виникнення нещасного випадку.

Хімічне виробництво характеризується великою різноманітністю технологічних процесів, виробничих операцій та, відповідно, великою кількістю небезпечних ситуацій ($m\to\infty$). Ймовірність виникнення небезпечної події, що призведе до нещасного випадку в кожній небезпечній ситуації, дуже мала ($P\to 0$). Тому суму деякої кількості подій λ, що призводять до травмування працівників за певний проміжок часу t (тиждень, місяць, квартал тощо), можна розглядати як потік найпростіших випадкових подій, які послідовно відбуваються у випадкові моменти часу. Такий найпростіший (пуассонівський) потік подій (нещасних випадків) має три властивості: стаціонарність, відсутність наслідків та ординарність. Стаціонарність означає, що ймовірність появи n нещасних випадків у будь-який проміжок часу не залежить від того, відбувались чи не відбувались нещасні випадки до початку спостереження, а залежить тільки від значення n та довгочасності (тривалості) інтервалу спостереження. Відсутність наслідків означає, що ймовірність появи нещасних випадків не визначається тим, скільки їх сталось у попередній період, тобто нещасні випадки виникають незалежно один від одного. Ординарність означає, що ймовірність появи двох або більше нещасних випадків у дуже стислі проміжки часу мала (її значенням можна знехтувати) порівняно з імовірністю появи тільки одного нещасного випадку. Відповідно процес виникнення нещасних випадків з достатньою для практики точністю можна прийняти стаціонарним.

Якщо розглядати послідовність нещасних випадків як найпростіший потік подій (потік нещасних випадків), то є підстава вважати, що нещасні випадки на хімічних комплексах відносяться до «рідких подій», імовірність виникнення яких підпорядковується закону Пуассона (1). При цьому пуассонівський розподіл є статистичною моделлю, що описує число нещасних випадків, що виникають у фіксованому інтервалі часу.

$$P_n(n)=\frac{(t\lambda)^n e^{-\lambda t}}{n!}, \qquad (1)$$

де P_n – імовірність того, що на підприємствах хімічного комплексу за проміжок часу t станеться n нещасних випадків;

λ – інтенсивність травматизму, тобто середня кількість нещасних випадків, що може статись за одиницю часу або їх математичне очікування.

Для перевірки гіпотези пуассонівського розподілу нещасних випадків використовували фактичні статистичні дані щодо нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на підприємствах хімічного комплексу за 2007-2011 рр. Аналіз взаємозв'язку теоретичного та фактичного розподілу нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на підприємствах хімічного комплексу було проведено в такій послідовності:

- встановлено загальну кількість нещасних випадків у досліджуваному періоді часу, яка становила 168 осіб;
- проведено вибірку нещасних випадків за кожний місяць зазначеного інтервалу та отримано 12 періодів з різною кількістю нещасних випадків;
- визначено вибіркову середню за формулою (2):

$$\overline{x}_в = \sum_{i=1}^{k} \frac{f_i x_i}{n}; \quad (2)$$

- визначено інтенсивність травматизму за формулою:

$$\lambda = \overline{x}_в = \sum_{i=1}^{k} \frac{f_i x_i}{n} = \frac{168}{60} = 2,8; \quad (3)$$

- розраховано теоретичні частоти настання нещасних випадків (табл. 1).

Таблиця 1

Теоретичний та дослідний розподіл нещасних випадків

Період, **t**	Частота нещасних випадків, **f**	Дослідна частота, **ft**	Дослідна ймовірність нещасного випадку, $\mathbf{P_n}$	Теоретична ймовірність нещасного випадку, $\mathbf{P_n'}$	Теоретична частота, **f'**
0	12	0	0,200	0,0608	3,6486
1	10	10	0,167	0,1703	10,216
2	10	20	0,167	0,2384	14,3025
3	10	30	0,167	0,2225	13,3490
4	6	24	0,100	0,1557	9,3443
5	4	20	0,067	0,0872	5,2328
6	3	18	0,050	0,0407	2,4420
7	1	7	0,017	0,0163	0,9768
8	0	0	0,000	0,0057	0,3419
9	2	18	0,033	0,0018	0,1064
10	1	10	0,017	0,0005	0,0298
11	1	11	0,017	0,0001	0,0076
∑	60	168	1,000	0,99996	59,9978

Для перевірки достовірності прийнятої гіпотези щодо відповідності емпіричного розподілу, передбачуваному теоретичному розподілу F(x), визначили критерій одностайності Пірсона (χ^2) (4). При розрахунку критерію Пірсона дотримувались відповідних вимог: кількість спостережень n > 50, а інтервали, в яких теоретичні частоти менше 5, об'єднали в одну групу таким чином, щоб їх сумарне значення було більше 5 (табл. 2). Ступінь розходження теоретичних та емпіричних частот оцінимо за критерієм одностайності Пірсона [6]:

$$x^2 = \frac{(f_i - f_i')}{f_i'}, \quad (4)$$

де f_i і f_i' – відповідно частоти емпіричного і теоретичного розподілу в інтервалі.

Таблиця 2

Розрахунок критерію одностайності Пірсона

Кількість груп вибірки	Емпіричні частоти f_i	Теоретичні частоти, f_i'	$f_i - f_i'$	$\frac{(f_i - f_i')}{f_i'}$
1	22	13,86	66,18	4,77
2	10	14,30	18,51	1,29
3	10	13,35	11,22	0,84
4	6	9,34	11,18	1,20
5	4	5,23	1,52	0,29
6	8	3,90	16,77	4,30
∑	60	60,00	125,39	12,69

Відповідно до даних таблиці квантилей x^2 за заданим рівнем значимості α = 0,01 та ступенем свободи (6-2 = 4) визначаємо $x^2_{\text{теор.}}$ = 13,2767 [7]. У зв'язку з тим, що $x^2_{\text{розр.}}$ =12,69 < 13,2767, то є підстава для прийняття гіпотези щодо відповідності розподілу нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками в хімічному комплексі закону Пуассона з параметром λ = 2,8. Відхилення емпіричного розподілу від пуассонівського може спостерігатись у разі суттєвих змін технологічного процесу або у разі невірогідних статистичних даних. Під час підвищення поточного значення параметра λ спостерігається зниження рівня безпеки праці, що потребує своєчасного вжиття відповідних заходів.

Імовірність того, що на підприємствах хімічного комплексу не виникне нещасний випадок, дорівнює p_0 = 0,0608. Відповідно, ймовірність виникнення нещасного випадку в зазначеному часовому інтервалі становить $p = 1 - p_0 = 0{,}9392$. Імовірність виникнення нещасних випадків та безпечної роботи протягом заданого періоду часу, а також середній час роботи без травм служать кількісними критеріями оцінювання травмонебезпечності виробництва.

Висновки. Аналіз статистичних даних та теоретичні дослідження показали, що розподіл нещасних випадків з тяжкими та смертельними наслідками на підприємствах хімічного комплексу описується законом Пуассона. Запропоновано використання статистичної моделі ймовірнісного розподілу Пуассона для прогнозування травматизму на підприємствах хімічного комплексу. Для класифікації підприємств за рівнем ризику пропонується визначення травмонебезпечності підприємств галузі залежно від рівня небезпечності обладнання, технологічних процесів тощо.

Список використаних джерел

1. *Про об'єкти* підвищеної небезпеки : Закон України від 18.01.2001 № 2245-III.

2. *Стан* умов праці найманих працівників у 20011 році [Електронний ресурс] : Статистичний бюлетень. – Режим доступу : http:www.ukrstat.gov.ua.

3. *Анализ* риска газонаполнительных станций / С. М. Лыков, А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов и др. // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 8. – С. 25-30.

4. *Сидоров В. И.* О декларировании промышленной и пожарной безопасности на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса / В. И. Сидоров, М. В. Лисанов // Безопасность труда в промышленности.– 2009. – № 11. – С. 44-51.

5. *Бєгун В. В.* Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки) / В. В. Бєгун, І. М. Науменко. – К., 2004.

6. *Грановский Е. А.* Моделирование техногенных аварий и чрезвычайных ситуаций при разработке деклараций безопасности и другой документации по промышленной безопасности / Е. А. Грановский // Декларування безпеки об'єктів підвищенної небезпеки як засіб регулювання безпеки регіону (держави) : тези доповідей науково-методичного семінару. – К., 2007. – С. 31-36.

7. *Гурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гурман. – М. : Высшая школа, 1998. – 479 с.

8. *Теория* статистики : учебник / под ред. Р. А. Шмойловой. – 3-е изд., перераб. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 560 с.

УДК 631.4:631.11

І.І. Сидоренко, ст. викладач
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОГО ЕКОНОМІКО-ЕКОЛОГІЧНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ

Розглянуто підходи щодо формування ефективного економіко-екологічного землекористування, що ґрунтується на інтегральному оцінюванні екологічного стану земельних ресурсів.

Ключові слова: *сільське господарство, земельна реформа, землеустрій, екологічна безпека.*

Рассмотрены подходы к формированию эффективного экономико-экологического землепользования, что основывается на интегральной оценке экологического состояния земельных ресурсов.

Ключевые слова: *сельское хозяйство, земельная реформа, землеустройство, экологическая безопасность.*

The approaches to the formation of an effective economic and environmental land use that is based on an integrated assessment of the environmental state of the land are considered.

Key words: *agriculture, land reform, land management, environmental safety.*

Постановка проблеми. Земельна політика має першорядне значення для забезпечення сталого розвитку, раціонального управління, добробуту населення та економічних можливостей населення. Реформування земельних та майнових відносин в Україні, що склалися у сфері сільськогосподарського землекористування, покликано підвищити ефективність землекористування різними суб'єктами-землекористувачами. Натомість була проведена масова приватизація земель сільськогосподарського призначення, яка не сприяла пошуку не тільки ефективного землекористувача, але й ефективного землевласника. Протягом останніх майже 24 років, що минули від започаткування в Україні земельної реформи, пройдено складний шлях роздержавлення та приватизації земель, становлення нового земельного ладу. Багато надій покладалося на новостворені організаційно-правові форми господарювання. Проте більшість з них повільно адаптуються до ринкових умов господарювання. Велика кількість дрібних землекористувачів загострює екологічні проблеми землекористування, оскільки здебільшого вони не в змозі вживати комплексних заходів щодо охорони земель та відтворення їх продуктивності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині багато науковців займаються вирішенням проблем щодо раціонального використання, охорони та відтворення земель сільськогосподарського призначення. Проблемам удосконалення управління земельними ресурсами, регулювання земельних відносин, земельної ренти, економічної оцінки землі і земельного кадастру присвячені дослідження багатьох учених: Д.І. Гнатковича, В.В. Горлачука, Ю.Г. Гуцуляка, О.І. Драпиковського, С.І. Кабакової, В.М. Трегобчука, А.М. Третяка. Інформаційні аспекти цієї проблеми й питання оптимального використання землі знайшли відображення в роботах А.О. Варламова, В.І. Гладкого, М.І. Долишнього, Т.П. Магазинщикова, М.В. Сазонова та ін.

Серед відомих вітчизняних науковців (економістів, аграрників, екологів, ґрунтознавців) цього напряму можна відзначити: П.П. Борщевського, І.К. Бистрякова, Б.М. Данилишина, Д.С. Добряка, С.І. Дорогунцова, Я.В. Коваля, Д.Ф. Крисанова, М.А. Лендєла, А.С. Лисецького, Л.Я. Новаковського, Я.Б. Олійника, П.Т. Саблука, А.Я. Сохнича,

В.М. Трегобчука, А.М. Третяка, Ю.Ю. Туницю, М.М. Федорова, М.А. Хвесика, М.К. Шикулу та інших, а серед відомих іноземних учених: Геєра, А. Юнга, Ф. Харісона, М. Геффні, Г. Джапа, Р. Кемпелла, Стенлі, Л. Брю та інших.

Визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба зазначити, що проблема ефективного економіко-екологічного землекористування на різних організаційно-правових рівнях ще далека від свого вирішення, що зрештою й обумовило вибір теми дослідження.

Постановка завдання. Зростаюче техногенне навантаження на навколишнє природне середовище, корінні зміни в економічному житті як країни в цілому, так і її окремих регіонів, здійснюють негативний вплив на якість сільськогосподарських земель, умов проживання населення та сукупну цінність територій та потребують вироблення нових концептуальних підходів, що забезпечують організацію раціонального та ефективного раціонального землекористування.

Метою дослідження є розроблення та обґрунтування теоретичних та методологічних основ і практичних рекомендацій щодо забезпечення економічно та екологічно ефективного сільськогосподарського землекористування на сучасному етапі реформування земельних відносин в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сільськогосподарське (с/г) землекористування є однією з основних форм негативного впливу на стан навколишнього середовища. Ігнорування екологічних засад сільськогосподарського використання неминуче буде прискорювати екодеструкцію унікальних земельних ресурсів України, зменшувати еколого-економічну ефективність аграрного виробництва, і в кінцевому рахунку, поглиблювати соціально-екологічні проблеми продовольчої безпеки.

За сучасними оцінками, впродовж усієї історії свого існування людство зруйнувало близько 2 млрд га родючих ґрунтів – це більше, ніж нині оброблювані поля та пасовища, площа яких становить близько 1,5 млрд га. Територій, яких не торкнулася діяльність людини, у світі залишилося не так уже й багато – лише 39 % від усієї площі Землі [1]. Не найкращою є й ситуація в Україні (рис.1.)

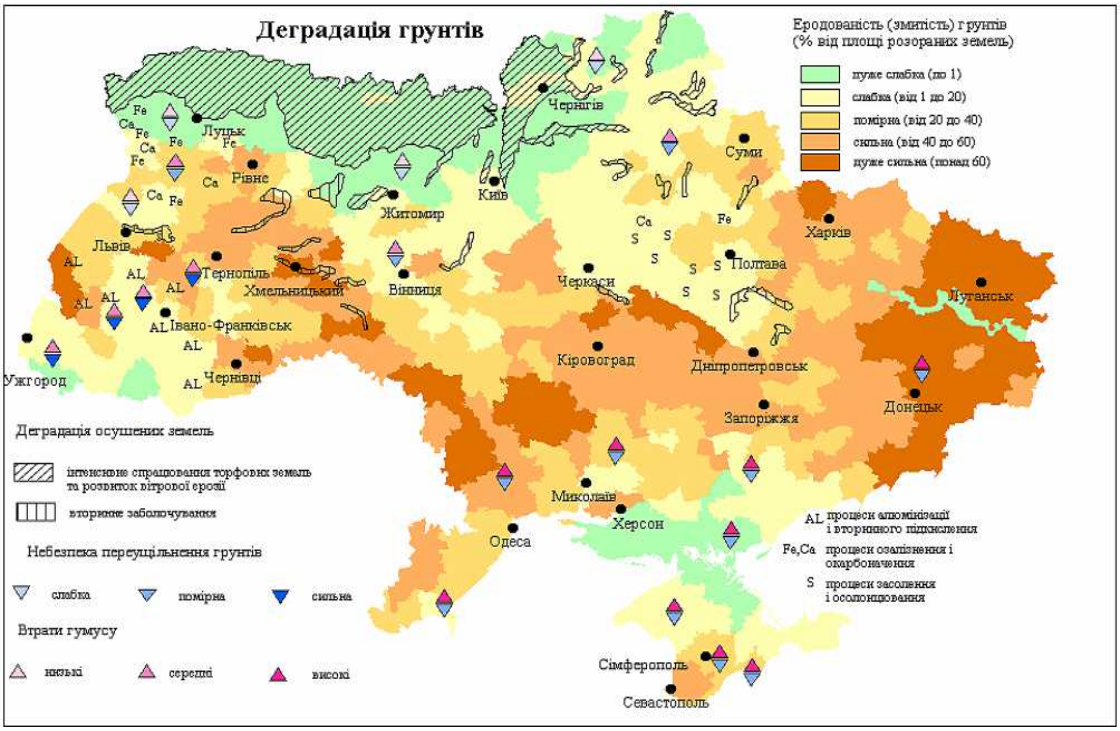


Рис. 1. Деградація ґрунтів в Україні [4]

За розрахунками експертів ФАО ООН, до 2030 р. населення Землі становитиме 8 млрд чоловік, що посилить антропогенний тиск на навколишнє природне середовище, зокрема через збільшення сільськогосподарського навантаження на земельні ресурси, як провідного механізму забезпечення зростаючих продовольчих потреб [2].

Визначальною передумовою сталого виробництва продовольства є наявність родючих ґрунтів. Екологічна безпека при сільськогосподарському землекористуванні стає ключовою проблемою країни, оскільки передбачає гарантоване збереження біосфери у зрівноваженому стані та дозволяє використовувати земельні ресурси без перевищення меж їх відтворення та відновлення. Вона має базуватися на підвищенні природної якості земель сільськогосподарського призначення та покращенні умов с/г землекористування.

Невирішеними залишаються питання, пов'язані із введенням приватної власності на землі с/г призначення та запровадженням на цій основі ринку земель. Зокрема, у правовому полі не створено необхідних обмежень щодо нераціонального, з екологічного погляду, землекористування на приватних земельних наділах. Не завжди на практиці існує рівність усіх форм власності на землю. Крім цього, у стані формування знаходяться окремі інституції щодо забезпечення ефективного функціонування ринку земель с/г призначення.

Важливим є й питання рентної політики в галузі землекористування та урівноваження економічних інтересів між усіма суб'єктами господарювання в України [3]. Економічна оцінка земель у ринкових умовах не може базуватися лише на нормативній ціні земель. Відповідно екологічна оцінка цих земель має враховувати як якісний стан земель, так і рівень інтенсивності сільськогосподарського землекористування.

Складність системи ефективного землекористування полягає у різних ступенях (масштабах та інтенсивності) використання земель, залучення суб'єктів-землекористувачів до власне землекористування, а також у цільовому призначенні земель. Звідси виникає необхідність вертикального (галузевого) і горизонтального (територіального) розмежування інтересів суб'єктів земельних відносин в аграрній сфері. Чітке розмежування інтересів та функцій таких суб'єктів є підґрунтям для створення нової системи землекористування. Важливою умовою високої ефективності системи землекористування є формалізація земельних відносин, тобто власне організація і самоорганізація землевласників та землекористувачів у різні форми господарювання. Така формалізація має будуватися на основі різноманітності інтересів суб'єктів земельних відносин. Цікавою здається трьохрівнева систему ефективного с/г землекористування (табл.) [3].

Таблиця

Рівень землекористування. Характеристика рівня	**Територіальний (верхній)**	**Сільськогосподарських підприємств (середній)**	**Дрібних землекористувачів (нижній)**
1	2	3	4
Основні суб'єкти землекористування	Види сільгосппідприємств. Об'єднання кількох організаційно-правових форм сільгосппідприємств одного виду	Організаційно-правові форми окремого виду сільгосппідприємств	Безпосередні землекористувачі одноосібники і члени однієї сім'ї, а також наймані (постійно або тимчасово) працівники
Найбільш вагомі характеристики об'єкта землекористування	Родючість земель. Оптимальна структура сільгоспугідь	Родючість земель. Оптимальна площа земель сільськогосподарського призначення	Родючість земель. Оптимальна площа окремих видів сільгоспугідь
Обмежувальні параметри ефективного землекористування	Максимальна кількість землевласників. Оптимальна площа землеволодінь і землекористувань	Максимальна кількість землекористувачів. Максимальна і мінімальна площа землекористувань	Мінімальна кількість землекористувачів. Мінімальна площа землеволодінь

Закінчення табл.

1	2	3	4
Фактична ефективність управлінських рішень	Ефективні стратегічні рішення і неефективні поточні	Неефективні стратегічні та поточні рішення	Ефективні поточні рішення, а стратегічні відсутні
Ступеневість внутрішньорівневої будови	Двоступенева (одна або кілька юридичних осіб приймають управлінські рішення)	Чотирьохступенева (рішення в межах однієї юридичної особи приймає одна фізична особа або група осіб виробничих підрозділів)	Одноступенева (рішення приймає одна фізична особа або одна сім'я)

Перший рівень – це рівень дрібних форм господарювання. Другий рівень включає середні та великі організаційно-правові форми господарювання. Третій рівень – це рівень певної території із усією сукупністю землекористувачів та форм господарювання.

Ефективність землекористування на кожному з рівнів залежатиме насамперед від вибору напрямів землекористування та встановлених економіко-екологічних обмежень. При цьому слід враховувати не лише інтереси суб'єктів земельних відносин у межах одного організаційно-правового рівня, але й міжрівневі інтереси.

Пропонується запровадити такі заходи: створити соціально-економічні та правові передумови щодо розвитку і самоорганізації як окремих форм господарювання, так і окремих суб'єктів земельних відносин; встановити чіткі права й обов'язки землевласників і землекористувачів у системі землекористування; запровадити взаємну відповідальність всіх суб'єктів земельних відносин за нераціональне землекористування [3].

У відповідній нормативно-правовій базі слід відобразити єдину для всіх суб'єктів земельних відносин екологічну мету землекористування, а саме мінімізація втрат природних властивостей земель с/г призначення. Зазначена мета має реалізовуватися у тому числі і за рахунок мінімізації залучених у землекористування земель.

Успішне функціонування нової системи землекористування має здійснюватися в такій послідовності: планування – організація – регулювання – координація – контроль. На стадії планування обов'язково передбачається прогнозування наслідків землекористування. Стадія організації покликана створити найбільш сприятливі для економічно та екологічно ефективного землекористування умови. А на стадії координації необхідно забезпечити ефективний зв'язок між усіма землекористувачами.

Інтегральний показник рівня ефективності землекористування (ІЕЗ) можна визначити на підставі розрахунків за чотирьохблочною системою показників (факторів) – фактора відтворення природних властивостей земель, розвитку соціальної сфери на селі, ефективності с/г виробництва, оптимальності екологічних процесів у ґрунті та навколо нього. Розрахунки здійснюються за шкалою від 0 до 100 % за формулою [3]:

$$\text{ІЕЗ} = \sum_{g=1}^{p} \left[1 - \left| \frac{\sum_{i=1}^{n} K_{iJ}^{N} - \sum_{i=1}^{n} K_{iJ}^{F}}{\sum_{i=1}^{n} K_{iJ}^{N}} x a_{iJ} \right| \right] / p \cdot 100\ \%,$$

де ІЕЗ – інтегральний показник рівня ефективності с/г землекористування за g фактором; p – кількість факторів; K_{iJ}^{F} – фактичне значення фактора за *i*-м показником; K_{iJ}^{N} – нормативне значення фактора за *i*-м показником; a_{iJ} – ступінь значущості фактора за *i*-м показником; *j* – номер адміністративної одиниці території.

На думку автора [4], інтегральний показник екологічного стану земельних ресурсів сільськогосподарських підприємств повинен враховувати основні складові, а саме, аг-

роекологічний потенціал ґрунтів і управлінську основу потенційної еколого-економічної результативності сільськогосподарського землекористування:

$$ЕС = АЕП\ W_i + i_{тр}\ W_i + i_{ек.пол.}\ W_i + i_{екол.мен.}\ W_i + i_{ек.добр.}\ W_i + i_{впр.}\ Wi + i_{ек.стим.}\ Wi + i_{відп.}.\ W_i,$$

де *ЕС* – інтегральний показник екологічного стану земельних ресурсів сільськогосподарських підприємств; *АЕП* – комплексний показник агроекологічного потенціалу ґрунтів; $i_{тр}$ – комплексний показник транспарентності; $i_{ек.пол.}$ – комплексний показник екологічної політики; $i_{ек.мен.}$ – комплексний показник екологічного менеджменту; $i_{ек.добр.}$ – комплексний показник рівня екологічної доброчинності підприємства; $i_{ек.стим.}$ – комплексний показник екологічного інформування та економічного стимулювання екологічної відповідальності персоналу; $i_{впр.}$ – комплексний показник впровадження підприємством програм та методів екологічного аудиту; $i_{відп.}$ – комплексний показник екологічної відповідальності. $W_{АЕП}$, $W_{тр}$, $W_{ек.пол}$, $W_{екол·мен.}$, $W_{ек.добр}$, $W_{впр.}$, $W_{ек.стим}$, $W_{відп.}$.– вага комплексних показників у структурі інтегрального показника.

Схема розрахунку інтегрального показника стану земельних ресурсів сільськогосподарських підприємств наведена на рис. 2.

Підвищенню ефективності землекористування сприятимуть не лише заходи щодо зменшення та ліквідації негативних антропогенних впливів на землі, але й створення сприятливих умов з відтворення земельно-ресурсного потенціалу. Для цього слід передбачити заходи щодо відтворення родючості ґрунту, захисту земель від деградації та ерозії, вибору оптимального рівня інтенсивності та напрямів використання земель тощо (рис. 3).

Доцільно впроваджувати нові напрями щодо адаптації землекористування до природних умов та посилити заходи економічної відповідальності землевласників і землекористувачів за порушення природного стану земель.

Масове використання ґрунтів окремих типів, а також часта зміна напрямів самого землекористування призводить до того, що ґрунти набувають нетипових властивостей або у кращому разі потрапляють у нетипові умови, а тому пропонується максимально сприяти покращенню природного стану навколоґрунтового середовища. Отже, ефективна охорона і відтворення ґрунтів має передбачати, з одного боку, забезпечення їх екологічної стійкості, а з іншого – оптимізацію навколоґрунтових процесів.

Нині під час землекористування в Україні домінує не регіональний, а загальний підхід. Змінити такий підхід значною мірою допоможе об’єктивне оцінювання екологічного стану земель, тобто своєрідна екологічна регіональна інвентаризація самих цих земель. При цьому слід оцінити як потенційні втрати природних властивостей земель, так і їх потенційні забруднення. Необхідно на рівні кожного регіону запровадити комплексну систему обліку забруднених земель та видів забруднень, що допоможе розробити ефективніші заходи щодо упередження та боротьби із забрудненнями. Більше того, доведеться виробляти і відповідну культуру землекористування та до певної міри і відповідний спосіб життя.

Найбільш вагомими у теперішній час напрямами щодо підвищення економіко-екологічної ефективності с/г землекористування в різноманітних формах господарювання є: дотування, субсидіювання, квотування, страхування, пільгове оподаткування і кредитування, а також заходи протекціоністської політики.

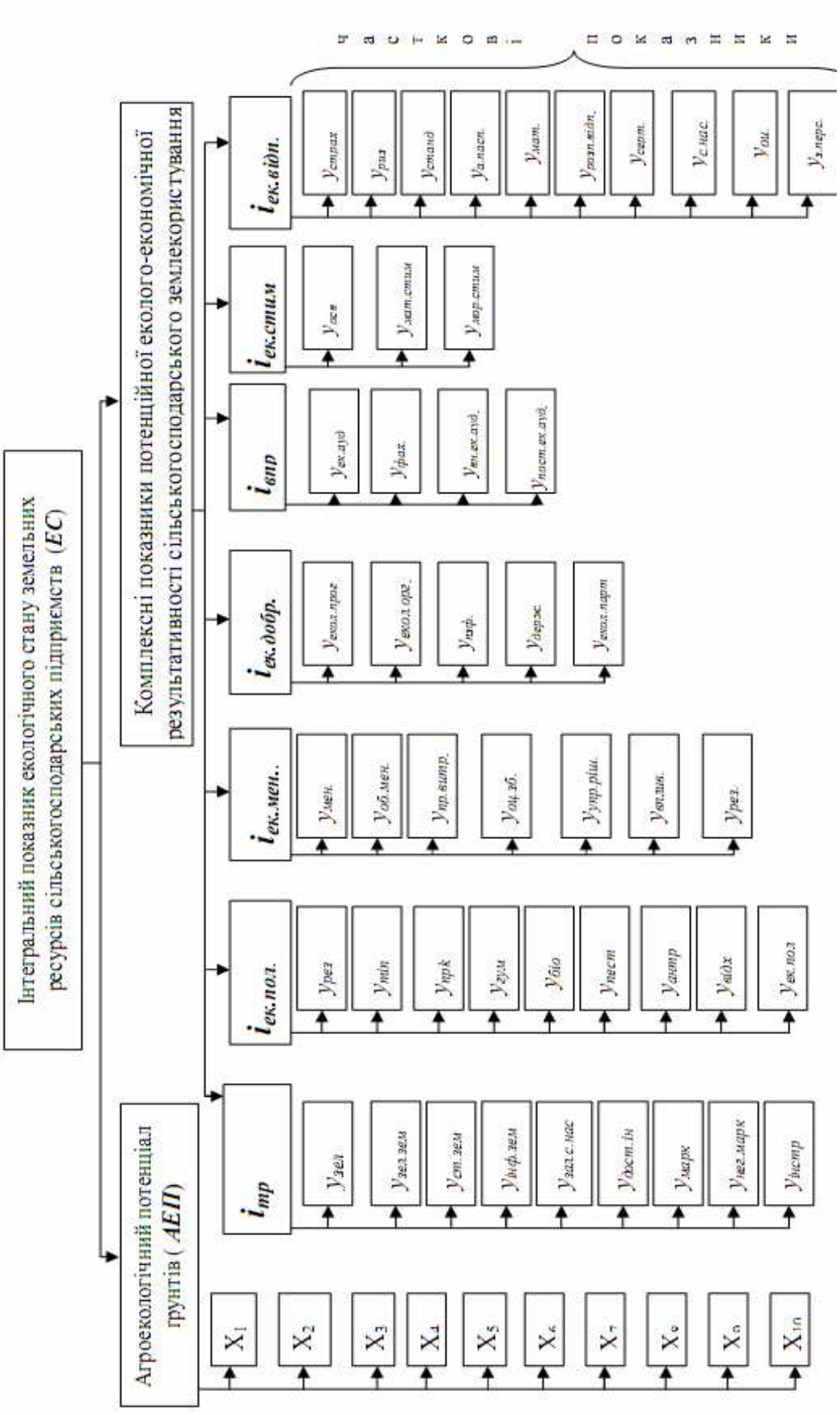


Рис. 2. Структурно-ієрархічна схема розрахунку інтегрального показника екологічного стану земельних ресурсів сільськогосподарських підприємств [4]

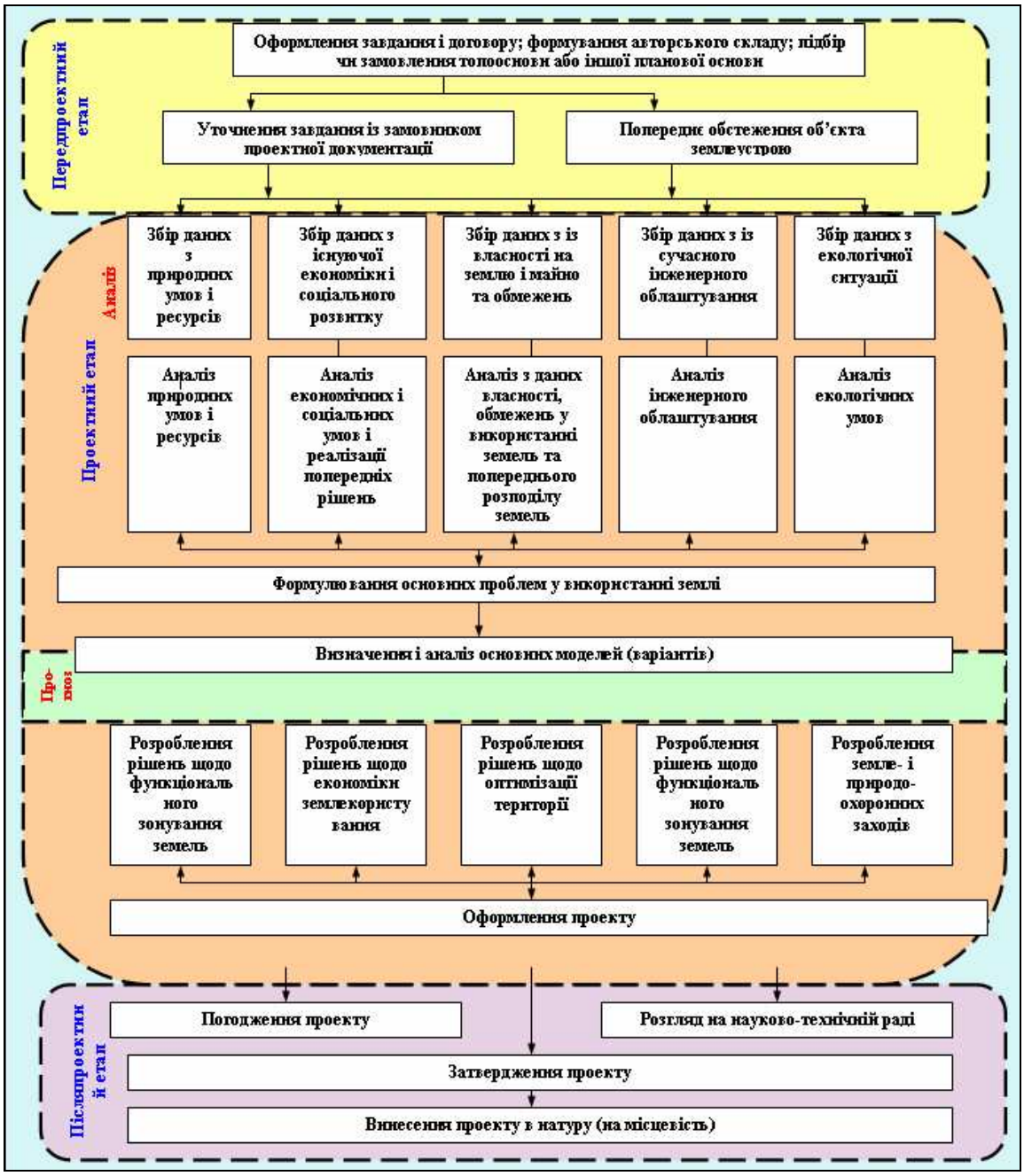


Рис. 3. Схема виконання проекту землеустрою

Можна виокремити три основні системи ефективного с/г землекористування, які склалися у світі. Перша – суспільно-приватницька система, яка базується на посиленні різного роду економіко-екологічних та правових обмежень у с/г землекористуванні та на суворому суспільному контролі за раціональним використанням цих земель. Найбільш типовими представниками цієї системи є ФРН і Франція. Друга – державно-приватницька система, яка ґрунтується на домінуванні державної форми власності (як це є в Китаї) або державних інтересів в аграрній сфері (прикладом може слугувати Японія), що дозволяє максимально розвивати оренду земель с/г призначення. Третя – приватницька система характеризується домінуванням приватної форми власності на землі с/г призначення та ефективним механізмом реалізації і захисту прав носіїв цієї форми власності.

Кожна із зазначених систем ефективного с/г землекористування має свої переваги та недоліки. Тому формальне перенесення досвіду інших країн щодо с/г землекористування на українські реалії не дає змоги досягнути бажаного економіко-екологічного ефекту. Необхідно створити якомога сприятливіші умови для землевласників і землекористувачів, які розширять їхні можливості щодо вибору екологічно безпечних та одночасно економічно ефективних напрямів с/г землекористування.

Отже, концептуальні напрями в організації економічно та екологічно ефективного с/г землекористування можна згрупувати у чотири основні блоки: економічний, екологічний, правовий і соціальний. При цьому критеріальними ознаками оцінювання відповідних заходів є, з одного боку, показники, що випливають із природних властивостей та напрямів використання земель, а з іншого – із наслідків та умов їх використання. Допомогти реалізувати цілі і завдання щодо економічно та екологічно ефективного с/г землекористування має економічний оборот земель с/г призначення, що пов'язаний, насамперед, із ринком цих земель.

Висновки. Реформування аграрного сектору економіки України виявило значні недоліки в теорії та методах землеустрою. Такі прогалини негативно відображаються на землеволодінні й землекористуванні ділянками, на яких нині здійснюють свою господарську діяльність реформовані сільськогосподарські суб'єкти підприємництва.

Вітчизняний досвід, а також практика інших країн свідчать, що реальним механізмом упорядкування використання земель, врегулювання земельних відносин, а також переобладнання територій для суспільно необхідного й водночас ефективного використання може бути тільки землеустрій, у процесі якого вирішуються правові, соціально-економічні, організаційно-територіальні та екологічні завдання. Всі дії, пов'язані з перерозподілом земель, утворенням нових землеволодінь і землекористувань, організацією використання й охорони земель, слід здійснювати тільки в порядку землеустрою і на основі детального соціально-економічного та екологічного обґрунтування.

Список використаних джерел

1. *Третяк А. М.* Економіка землекористування та землевпорядкування : навч. посіб. / А. М. Третяк. – К. : ТОВ ЦЗРУ, 2004. – 542 с.

2. Economic-Ecological Theoretical Perspectives. – NY, 1997. – P. 21-36.

3. *Будзяк В. М.* Економіко-екологічні основи ефективного сільськогосподарського землекористування: теорія, методологія, практика : автореф. дис. ... д-ра екон. наук / В. М. Будзяк. – К., 2008. – 42 с.

4. *Пізняк Т. І.* Організаційно-економічні основи формування системи екологічного аудиту сільськогосподарського землекористування : дис. ... канд. екон. наук / Т. І. Пізняк. – Суми, 2008. – 219 с.

РОЗДІЛ VIII. ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 665.334.9/.11:633.85

О.А. Ракша-Слюсарева, д-р біол. наук
Л.Ф. Пікула, канд. техн. наук
В.О. Круль, аспірант
І.І. Володченко, аспірант
Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ХАРЧОВОГО ПРОДУКТУ «РІПАКОВОГО» ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ДІЄТИЧНОГО СПОЖИВАННЯ

Наведено дані результатів вивчення мінерального складу харчового продукту «Ріпакового» для спеціального дієтичного споживання й частково обґрунтовано його стимулюючий вплив на систему імунітету та радіопротективну дію. Визначено масову частку загальної золи і золи, нерозчинної у хлоридній кислоті, масову частку калію, натрію, кальцію, магнію, заліза, міді, марганцю, нікелю, цинку. Розглянуто можливі причини значного біологічного ефекту ХПР, опираючись на дані літератури щодо дії виявлених у ньому мінеральних речовин на показники системи імунітету.

Ключові слова: *харчова добавка «Ріпак», харчовий продукт «Ріпаковий» для спеціального дієтичного споживання, загальна зола, зола, нерозчинна у хлоридній кислоті, мікроелементи, макроелементи.*

Приведены данные результатов изучения минерального состава пищевого продукта «Ріпакового» для специального диетического потребления и частично обосновано его стимулирующее влияние на систему иммунитета и радиопротективное действие. Определена массовая доля общей золы и золы, нерастворимой в хлоридной кислоте, массовая доля калия, натрия, кальция, магния, железа, меди, марганца, никеля, цинка. Рассмотрены возможные причины значительного биологического эффекта ППР, опираясь на данные литературы о действии обнаруженных в нем минеральных веществ на показатели системы иммунитета.

Ключевые слова: *пищевая добавка «Ріпак», пищевой продукт «Ріпаковий» для специального диетического потребления, общая зола, зола, нерастворимая в хлоридной кислоте, микроэлементы, макроэлементы.*

In this article the data of study of the mineral composition of the foodstuff "Ripakowiy" for special dietary consumption and partially based its stimulating effect on the immune system and radioprotective action. It was determined the mass fraction of total ash and ash insoluble in hydrochloric acid, the mass fraction of potassium, sodium, calcium, magnesium, iron, copper, manganese, nickel, and zinc. Also, this paper discusses possible cause's significant biological effect FR relying on literature data concerning actions identified therein minerals on the performance of the immune system.

Key words: *food additive "Ripak", foodstuff "Ripakowiy" for special dietary consumption, total ash, ash insoluble in acid chloride, minerals, macronutrients.*

Постановка проблеми. Постійне погіршення екологічної обстановки в Україні призводить до зниження адаптації організму людини, у першу чергу, на рівні системи імунітету та нейроімуноендокринної системи в цілому, що проявляється підвищенням захворюваності серед населення [1]. Крім вищезазначеної проблеми, здоров'я людини залежить також і від якості харчових продуктів. У сучасних умовах існування населення все більше обирає «нездорову» їжу, вже готову до споживання і таку, яка швидко готується. Така деформація харчування викликає особливо гостру необхідність пошуку нових шляхів його раціоналізації. Перспективним у цьому напрямку є введення в організм біологічно активних харчових добавок у натуральному вигляді чи у складі харчових продуктів. Це є шляхом запобігання зриву адаптації організму та підвищення його резистентності. Велика частка біологічно активних добавок, що використовуються в Україні, спрямована на збереження гомеостазу організму завдяки підвищенню його резистентності на рівні системи імунітету до негативних та стресових факторів довкілля [2]. Тому надзвичайно своєчасним і актуальним є пошук вітчизняної сировини, що містить біологічно активні речовини, й розроблення на її основі дієтичних харчових добавок, споживання яких приводило б до відновлення гомеостазу організму та регуляції психонейроімунної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ріпак і продукти його переробки є джерелом багатьох корисних речовин і являють собою перспективну сировину, завдяки

якій можна підвищувати харчову й біологічну цінність продуктів харчування і розробляти функціональні продукти із заданими властивостями (Leming R., 2005). Найбільш поширеним використанням ріпаку у харчуванні людини було і є понині отримання з нього ріпакової олії, яка вживається в їжу й використовується у харчовій та нехарчовій промисловості. Окремі літературні джерела свідчать про початок використання у розробленні харчових продуктів ізольованих біомодифікованих білків ріпаку (І.А. Глотова та співавт., 2009), ізолятів білку з ріпакового шроту (А.В. Кондратьєв, 2010) і ріпакової макухи (Я.Е. Касабова та співавт., 2010), а також залишку після екстрагування білку з ріпакового шроту (Е.І. Бєлова та співавт., 2010).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Використання у харчовій промисловості вторинних продуктів переробки ріпаку, зокрема ріпакової макухи (РМ), у цілісному складі, без виділення з неї білку чи інших поживних речовин до останнього часу не практикувалось. Основною перешкодою використання самого ріпаку та його вторинних продуктів переробки є їх незадовільні органолептичні показники, у першу чергу, неприйнятна для людини гіркота.

У 2007 році нами була встановлена можливість і показана перспективність використання РМ, отриманої після віджиму олії з ріпаку, для харчової промисловості. Після обробки макухи, розробленим нами методом, позитивно змінюються її попередньо неприйнятні для харчування й харчових продуктів органолептичні показники [3]. На основі обробленої гідроелектроімпульсом РМ нами була розроблена дієтична добавка «Ріпак» [4]. Було встановлено, що ця дієтична добавка може одночасно виступати як технологічна, так і як дієтична харчова добавка. У процесі подальших досліджень виявилось, що дієтична добавка «Ріпак» має біологічну активність і стимулює нейроімунну систему, а також має радіопротективну дію [5]. На основі цієї дієтичної добавки нами було розроблено харчовий продукт «Ріпаковий» для спеціального дієтичного споживання (ХПР).

Мета статті. Головною метою роботи є дослідження мінерального складу харчового продукту «Ріпаковий» для спеціального дієтичного споживання, як однієї з можливих причин її позитивного впливу на регуляцію психонейроендокринної системи й основу радіопротекторної дії.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводились на кафедрі товарознавства й експертизи продовольчих товарів та в навчально-дослідній лабораторії кафедри хімії Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського.

У дослідженні визначали масову частку загальної золи і золи, нерозчинної у хлоридній кислоті, мінеральний склад харчового продуку «Ріпаковий» для спеціального дієтичного споживання за такими мінеральними макро- і мікроелементами, як: кальцій, калій, магній, натрій, залізо, марганець, мідь, нікель, цинк.

Для визначення масової частки загальної золи і золи, нерозчинної у хлоридній кислоті, у перерахунку на абсолютно суху речовину, було використано метод прожарювання в муфельній печі при температурі 600-700 ^{o}C [6]. Мінеральний склад ХПР визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115.ПК [7]. Таким способом визначали вміст калію, натрію, кальцію, магнію, заліза, міді, марганцю, нікелю, цинку.

За результатами проведених нами досліджень, масова частка загальної золи ХПР становить 7,7±0,1 %, що вище за масову частку золи у необробленій ріпаковій макусі за літературними даними – 4,7 % до 7,4 % (E. Pedak,1997; R. Leming, 2005; S.R. Riyazi, 2009; С.В. Трухман, 2010). При цьому масова частка золи ХПР, що не розчиняється у хлоридній кислоті, за результатами наших досліджень становить 0,41±0,03 %. Останнє свідчить, що на вміст саме мінеральних речовин у складі ХПР припадає 7,3 %.

Отримані результати досліджень мінерального складу харчового продукту «Ріпакового» для спеціального дієтичного споживання наведено на рис.

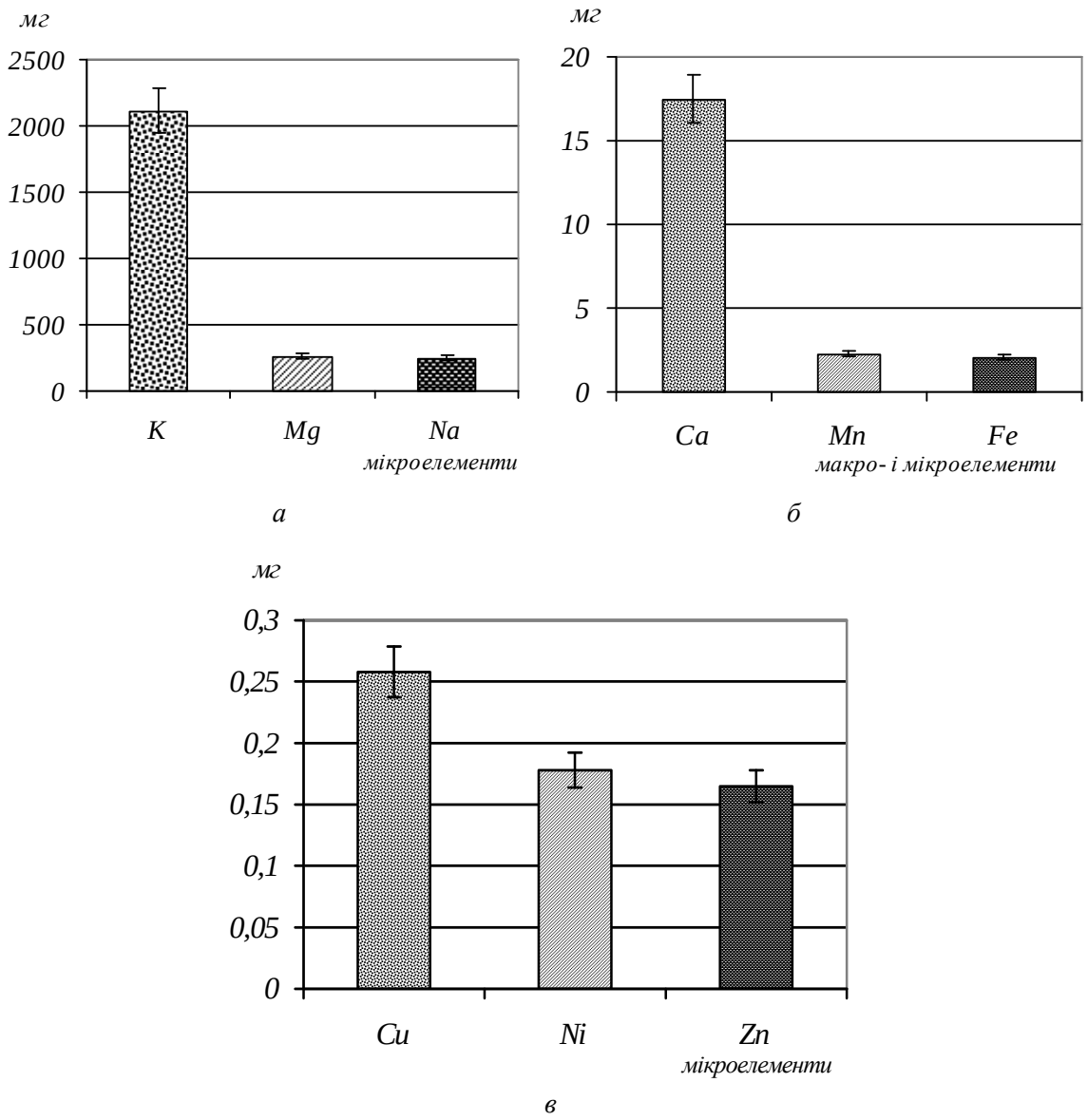


Рис. Мінеральний склад ХПР, мг/100 г:
а – вміст калію, натрію, магнію; б – кальцію, марганцю, заліза; в – міді, нікелю, цинку

Як видно з наведених даних, найбільший вміст серед мінеральних макроелементів, що визначались нами у ХПР, становив калій (2113,24±0,5 мг/100 г), магній (257,41±0,8 мг/100 г) і натрій (244,92±0,6 мг/100 г). У досить значній кількості для рослинної сировини виявлявся кальцій – 17,57±0,3 мг/100 г. Серед досліджуваних нами мікроелементів найбільшу частку складали марганець (2,28±0,04 мг/100 г) і залізо (2,03±0,2 мг/100 г). Менше, але теж у суттєвій кількості у ХПР містилися мідь (0,26±0,01 мг/100 г), нікель (0,17±0,01 мг/100 г) і цинк (0,16±0,03 мг/100 г).

Отримані результати свідчать про те, що у ХПР містяться важливі макро- й мікроелементи для функціонування організму людини.

У табл. з метою порівняння наведено одержані нами дані щодо вмісту макро- і мікроелементів у 100 г ХПР, вміст цих елементів у ефективній дозі (3 г на добу) щодо виявленої дії на психоімунонейроендокринну систему, виявленої на тваринах [5] та необхідна

добова норма мінеральних елементів для організму людини (В.А. Барабой, 2003; В.Д. Ванханен, 2003).

Таблиця

Дані щодо добової потреби людини в макро- і мікроелементах, їх вміст у 100 г харчового продукту «Ріпакового» та в ефективній дозі щодо позитивної дії на психоімунонейроендокринну систему

Мінеральний елемент	Добова мінімальна потреба, мг	Вміст мінеральних елементів у 100 г ХПР, мг	Вміст мінеральних елементів у ефективній дозі ХПР, мг	% від добової потреби
Натрій	4000	257,410±0,800	7,720±0,002	0,190
Калій	2000	2113,250±0,500	63,400±0,003	3,170
Кальцій	400	17,570±0,300	0,530±0,002	0,130
Магній	350	244,920±0,600	7,350±0,003	2,100
Залізо	10	2,030±0,200	0,061±0,002	0,610
Мідь	200	0,260±0,010	0,010±0,005	0,005
Цинк	10	0,160±0,030	0,005±0,001	0,050
Марганець	2	2,280±0,040	0,070±0,001	3,500
Нікель	0,3	0,170±0,010	0,005±0,001	1,700

Цікавим було у роботі розглянути і проаналізувати можливі причини значного біологічного ефекту ХПР, опираючись на дані літератури щодо дії виявлених у ній мінеральних речовин на показники системи імунітету.

Якщо проаналізувати відомий вплив макро- й мікроелементів, виявлених у ХПР, за даними літератури, то виявляється їх спорідненість з факторами регуляції психонейроімуноендокринної системи та її елементів. Так, макроелемент калій забезпечує нормальне функціонування клітинних мембран, як фактора внутрішньоклітинної сигналізації, і таким чином опосередковано бере участь у регуляції системи взаємодії імунокомпетентних клітин і міжклітинній міжсистемній взаємодії та забезпечує функціонування нервових клітин мозку й проведення нервового імпульсу [8]. Кальцій також відіграє важливу роль у функціонуванні й відновленні нервової системи, оскільки бере участь у процесах передачі нервових імпульсів. Магній регулює й нормалізує стан нервової центральної і периферичної системи, особливо в сполученні з вітаміном B_6 [8; 9]. Натрій забезпечує процеси внутрішньоклітинного і міжклітинного обміну, що необхідно для функціонування самих клітин і міжклітинної взаємодії, без чого неможлива ні нейроімуноендокринна регуляція, ні міжклітинна взаємодія у системі імунної відповіді [10]. Залізо є складовою частиною гемоглобіну, складних білкових комплексів і багатьох ферментів, що підсилюють процеси дихання в клітинах й впливає на метаболізм РНК, необхідної для підтримки імунного статусу. Крім того, залізовмісні сполуки відіграють важливу роль у функціонуванні клітинної ланки імунної системи [8; 11].

Щодо мікроелементів, то мідь разом із залізом відіграє важливу роль у кровотворенні, що має значення для опірності організму на рівні клітинної ланки системи імунітету. Вона відіграє важливу роль у безперервності передачі нервового імпульсу, забезпечуючи цілісність і відновлення мієлинових оболонок нервів, а також впливає на функціонування ендокринних залоз, що необхідно для відновлення та нормалізації роботи психонейроімуноендокринної системи й, відповідно, системи імунітету [8; 11]. Цинк активно впливає на імунітет і є його регулювальним компонентом, бере участь в активному дозріванні імунокомпетентних клітин, зокрема Т-клітин, забезпечує синтез імуноглобулінів, функціонування Т і В лімфоцитів, поліморфноядерних лейкоцитів. Крім того, він забезпечує функціонування нервової системи, впливаючи на пам’ять, розумові здібності, інтелектуальний потенціал, смак, нюх й зір [8; 11]. Марганець бере участь в основних нейрохімічних проце-

сах у центральній нервовій системі, що забезпечує її діяльність [8; 12]. Нікель у поєднанні з кобальтом, залізом, міддю необхідний для кровотворення, що, як відомо, безпосередньо пов'язано з процесом постійного відновлення клітинних елементів системи імунітету [8; 12]. Мідь, цинк і марганець входять у структуру антиоксидантного ферменту – супероксиддисмутази й антиоксидантного білка плазми крові – церрулоплазміну, який відіграє важливу роль в антиоксидантному захисті організму. Вищезгадані макро-, й особливо мікроелементи, входять у молекулярну структуру й беруть участь у регуляції великої кількості ферментів й ферментних систем [13].

При цьому давно визначено, що збагачення рослинної сировини мінеральними речовинами або/та вітамінами може значно підвищити ефективність впливу цієї рослини на організм [14].

Таким чином, за результатами проведених досліджень встановлено, що ХПР у ефективній дозі [5] є додатковим джерелом необхідних для життєдіяльності макро- і мікроелементів: калію, натрію, магнію, кальцію, марганцю, заліза, міді, нікелю і цинку, які активно впливають на елементи регулюючої психонейроендокринної системи. Комплексна дія цих мінеральних елементів частково пояснює стимулюючий відновлювальний ефект ХПР щодо вищої нервової діяльності, системи імунітету та її радіопротекторні властивості.

Висновки і пропозиції. Харчовий продукт «Ріпаковий» для спеціального дієтичного споживання містить комплекс таких макро- і мікроелементів, як калій, кальцій, натрій, магній, марганець, мідь, залізо, цинк і нікель, що активно впливають на стан системи імунітету, нервової та ендокринної системи, які є елементами регулюючої психонейроімуноендокринної системи. Комплекс визначених мінеральних елементів є також основою відновлювальної, у першу чергу, імуностимулюючої і радіопротективної дії ХПР.

Список використаних джерел

1. *Raksha-Slusareva O.* Radiation factor influence on foodstuffs quality research / O. Raksha-Slusareva // The 15th symposium of IGWT "Global Safety of Commodity and Environment. Quality of Life". – 2006. – V. I. – P. 936-939.

2. *Підходи* до оцінки якості харчових добавок, спрямованих на корекцію харчування й регулювання систем організму : монографія / О. А. Ракша-Слюсарева [та ін.]. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2010. – 193 с.

3. *Ракша-Слюсарева О. А.* Особливості технології виробництва дієтичної харчової добавки «Ріпак» / О. А. Ракша-Слюсарева, В. О. Круль, А. Р. Різун // Промышленная техника. – 2011. – № 7, Том 33. – С. 175.

4. *Пат. 33600* Україна, МПК7 A 23 J 1/00. Харчова добавка "Ріпак" / О. А. Ракша-Слюсарева, Л. Г. Саркісян, М. А. Васькевич, С. Я. Долгих та ін. ; заявники та патентовласники О. А. Ракша-Слюсарева, Л. Г. Саркісян, М. А. Васькевич, С. Я. Долгих. – u200804828 ; заявл. 14.04.2008 ; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 12/2008.

5. *Ракша-Слюсарева О. А.* Вивчення радіомодифікуючої дії харчової добавки „Ріпак" у експериментальних дослідженнях на тваринах / О. А. Ракша-Слюсарева, О. А. Слюсарев, В. О. Круль // Наукові праці: науково-методичний журнал. Т. 116. Вип. 103 "Техногенна безпека". – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – С. 45-49.

6. Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Методы определения золы : ГОСТ 13979.6-69. – [Действует с 1970.01.01]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 2 с. : табл. – (Межгосударственный стандарт).

7. *Алемасова А. С.* Аналітична атомно-абсорбційна спектроскопія : навч. посіб. / А. С. Алемасова, А. М. Рокун, І. О. Шевчук. – Севастополь : Вебер, 2003. – 308 с.

8. *Дранник Г. Н.* Клиническая иммунология и аллергология : монография / Г. Н. Дранник. – М. : МИА, 2003. – 604 с.

9. *Ярош А. К.* Магний и оротовая кислота – два из наиболее важных компонентов для регуляции функций нервной и мышечной системы организма / А. К. Ярош // Міжнародний ендокринологічний журнал. – 2010. – № 8. – С. 64-78.

10. *Srilakshmi B.* Nutrition Science / B. Srilakshmi. – New Delhi: New Age International, 2006. – 418 p.

11. Ройт А. Иммунология : пер. с англ. / А. Ройт, Дж. Бростофф, Д. Мейл. – М. : Мир, 2000. – 592 с.

12. *Emsley J.* Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements / J. Emsley. – Oxford : Oxford University Press, 2000. – 538 p.

13. *Барабой В.* Спосіб життя і харчування здорової людини : посібник для заочного навчання у Школі здорового способу життя / В. Барабой, Л. Порохняк-Гановська. – К.,2003. – 602 с.

14. *Baert J. R. A.* Cultivation and breeding chicory root for inulin production / J. R. A. Baert, E. L. Bockstaele // Ind. Crop Prod. – 1993. – № 1. – P. 229-234.

УДК 543.92:634.322:339.166.82(477.51)

Т.М. Денисенко, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОРГАНОЛЕПТИЧНА ОЦІНКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ МАНДАРИНІВ, ЩО РЕАЛІЗУЮТЬСЯ В ТОРГОВЕЛЬНІЙ МЕРЕЖІ М. ЧЕРНІГОВА

Наведено результати органолептичної оцінки та фізико-хімічних досліджень якості мандаринів, що реалізуються в торговельній мережі м. Чернігова, на відповідність вимог стандартів.

***Ключові слова**: оцінка якості, цитрусові, мандарини.*

Приведены результаты органолептической оценки и физико-химических показателей качества мандаринов, что реализуются в торговой сети г. Чернигова, на соответствие требованиям стандартов.

***Ключевые слова:** оценка качества, цитрусовые, мандарины.*

The results of sensory evaluation and physico-chemical parameters of quality mandarins, which are implemented in the trading network of city Chernigov.

***Key words:** quality assessment, citrus, mandarin.*

Постановка проблеми З кожним роком обсяги ввезеної на територію України плодоовочевої продукції збільшуються. Якщо проаналізувати динаміку кількості імпортних фруктів за останні 5 років, то їх обсяг майже не змінився і в середньому становив 1 мільйон тонн за рік.

Найбільшим попитом серед українських споживачів із фруктів користуються цитрусові. У середньому кожного року до України їх завозиться 400 тисяч тонн з Єгипту, Греції, Туреччини та Іспанії, що становить майже 40 % від усього обсягу фруктів. На другому місці по споживанню знаходяться банани, які завозяться з Еквадору та Коста-Рики, середня кількість імпорту яких становить 250 тисяч тонн на рік. Але, починаючи з 2009 року, разом з бананами була завезена велика кількість яблук (2009 – 300 тис. т; 2010 – майже 240 тис. т; 2011 – 100 тис. т; 2012 – майже 135 тис. т) Основними постачальниками яблук є Греція, Італія, Польща та Іспанія [1].

За 2012 рік до України було завезено лише 300 тонн баштанних, у той час як у попередні п’ять років цей показник у середньому становив 700 тонн. Незважаючи на те, що такі фрукти як абрикоси, вишні, персики, черешні та сливи є «нашими» культурами, у середньому до України їх завозиться до 50 тисяч тонн. В основному з Іспанії, Італії, Туреччини та Греції.

Усього протягом 2012 року до України імпортовано близько 400 тисяч тонн плодів цитрусових. Серед цитрусових плодів частка мандаринів становила 42 %, а апельсинів – 41 %. Найбільша частка серед імпорту мандаринів припадає на Азію (68 %), Європу (26 %), Африку (3 %) та країни СНД (3 %). Основними країнами-постачальниками мандаринів до Україні в 2012 р. були Туреччина, Грузія та Ізраїль.

Мандарини за хімічним складом і біологічними властивостями відносяться до найбільш цінних плодів. Вони характеризуються високими смаковими й ароматичними властивостями Плоди складаються з соку – 40-45 %, флавело – 8-10 %, альбедо – 15-30 %, плівок і м’якоті – 20-30 %, насіння – 0,4 %. У плодах міститься 11,4-13,0 % сухих

речовин, до 8,4 % цукру (0,6 глюкози, 2,4 фруктози, 5,4 сахарози), до 1 % органічних кислот, 0,7-0,8 % білка, 0,2-0,3 % жиру, 0,2-0,3 % клітковини, 0,3-0,5 % золи [2].

Мета статі. Метою роботи є аналіз якості цитрусових плодів (мандаринів), що реалізуються в торговельній мережі м. Чернігова.

Виклад основного матеріалу. Об'єктами дослідження стали мандарини таких сортів:

– мандарини сорту «Темпл» (Грузія);

– мандарини сорту «Нова» (Пакистан);

– мандарини сорту «Танго», без кісточок (Іспанія).

Предмет досліджень – органолептичні та фізико-хімічні показники якості мандаринів.

Зразки відбиралися в супермаркетах м. Чернігів. Плоди упаковані в дерев'яні ящики по 15 кг. На плодах відсутні будь-які наклейки та позначення. Повна інформація вказана на ящиках, а саме: найменування товару, назва сорту, країна походження, адреса відправника.

Сорти плодів обиралися різного розміру для порівняння їх характеристик. Мандарини сорту «Темпл» (рис. 1) найбільші серед обраних, сорт «Нова» (рис. 2) з Пакистану середніх розмірів з товстою шкіркою, мандарини сорту «Танго» (рис. 3) найменші, без кісточок.



Рис. 1. Плоди мандарина сорту «Темпл» (Грузія)

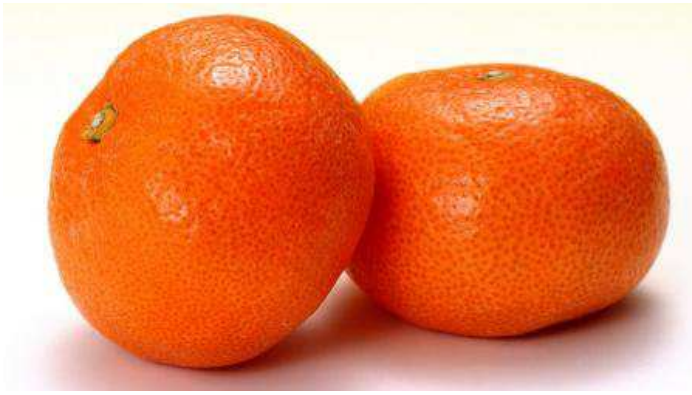


Рис. 2. Плоди мандарина сорту «Нова» (Пакистан)



Рис. 3. Плоди мандарина сорту «Танго», без кісточок (Іспанія)

Органолептичну оцінку якості мандаринів здійснювали за розробленою нами 5-баловою шкалою (табл. 1).

Таблиця 1

Шкала балової оцінки органолептичних показників якості цитрусових плодів

Показники	Балова шкала				
	5	4	3	2	1
Зовнішній вигляд	Плоди цілі, чисті, здорові, однорідної форми і кольору. Розміри для сортів з округлою формою плода (по найбільшому поперечному діаметру) не менше 40 мм	Плоди цілі, здорові, однорідного кольору, неоднорідної форми. Розміри для сортів з округлою формою плода (по найбільшому поперечному діаметру) не менше 40 мм	Плоди ледь пошкоджені, неоднорідної форми і кольору	Плоди не цілі, пошкоджені, неоднорідної форми і кольору, не однакового розміру	Плоди уражені, потемнілі, пошкоджені, не цілісні. Розміри для сортів з округлою формою плода (по найбільшому поперечному діаметру) менше 30 мм
Колір	Чітко виражений (помаранчевий, зелений, червоний, жовтий), властивий кольору плодів	Однорідний, виражений (зелений, помаранчевий, червоний та жовтий), властивий кольору плодів	Однорідний, світліший, ніж колір свіжих плодів	Світлий, неоднорідний колір	Невиражений колір, не властивий свіжим плодам з темними цятками
Смак	Чистий, властивий цьому виду продукції без стороннього присмаку	Властивий цьому виду продукції без стороннього присмаку	Слабко виражений, нейтральний	Невиражений	Невиражений, зі стороннім присмаком
Запах	Чистий, без сторонніх запахів, властивий цьому виду продукції	Чистий, без сторонніх запахів, менш виражений, властивий цьому виду продукції	Слабко виражений, властивий цьому виду продукції	Невиражений, нечистий	Невиражений, сторонні запахи

Мандарини сорту «Темпл» (Грузія): плоди круглої форми, однорідного помаранчевого кольору, шкірка без видимих дефектів, на плодах відсутні будь-які позначення та наклейки. Під час розрізання плоду – запах чистий, чітко виражений без сторонніх запахів, смак – виражений, солодко-кислуватий. Шкірка тонка, легко відділяється від плоду. Загальна балова оцінка 4,75 балів.

Мандарини сорту «Нова» (Пакистан): плоди круглої форми, найменші серед досліджуваних, однорідного помаранчевого кольору, шкірка без видимих дефектів, на плодах відсутні будь-які позначення та наклейки. Запах чистий, чітко виражений під час розрізання плоду, смак – кислуватий. М'якість плодів містить незначну кількість кісточок. Шкірка досить тонка, легко відділяється від м'якоті. Загальна балова оцінка 4,5 балів.

Мандарини сорту «Танго» (Іспанія): плоди круглої форми, однорідного помаранчевого кольору, шкірка без видимих дефектів, на плодах відсутні будь-які позначення та наклейки. Плоди даного сорту не містять кісточок. Запах чистий, чітко виражений під час розрізання плоду, смак – солодко-кислуватий, без сторонніх присмаків і запахів. Шкірка тонка, легко відділяється від м'якоті. Загальна балова оцінка 4,9 балів.

За результатами органолептичної оцінки якості встановлено, що мандарини сорту «Танго» (Іспанія) та сорту «Темпл» (Грузія) відмінної якості, а сорту «Нова» (Пакистан) – хорошої.

Фізико-хімічні дослідження проводили в лабораторіях кафедри товарознавства та комерційної діяльності Чернігівського державного технологічного університету. Серед фізико-хімічних показників визначали:

– кількість плодів у перерахунку на кілограм;

– масове співвідношення маси м'якоті до маси плоду;

– розмір плодів за найбільшим поперечним діаметром;

– визначення масової частки цукру.

Всі дослідження здійснювали в п'ятикратній повторюваності. Результати досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати досліджень за фізико-хімічними показниками якості

Показник	«Темпл» (Грузія)	«Нова» (Пакистан)	«Танго» (Іспанія)
Кількість шт 1 кг, шт	8	23	9
Розмір плодів за найбільшим поперечним діаметром, см	5,8	3,6	5,7
Масове співвідношення маси м'якоті до маси плоду, %	77,4	76	75
Масова частка цукру, %	13,7	12,5	14,0

Отже, найменші мандарини сорту «Нова» (Пакистан), їх кількість на кілограм становить 23 шт і мають найменший поперечний діаметр. Відповідно до вимог нормативної документації такі плоди відносяться до другого сорту. Вміст цукру в цих мандаринах на 0,5 % нижче мінімальних вимог ГОСТ 4428-82 «Мандарины. Технические условия». А мандарини сортів «Темпл» і «Танго» мають майже однаковий розмір за поперечним діаметром. Масова частка цукру відповідає вимогам нормативної документації. Мандаринів в 1 кілограмі сорту «Танго» міститься 9 штук, а сорту «Темпл» – 8.

Висновки. На основі проведених досліджень встановлено, що мандарини, які реалізуються в торговельній мережі м. Чернігів, відповідають вимогам ГОСТ 4428-82 «Мандарины. Технические условия» за органолептичними і фізико-хімічними показниками, а саме «Темпл» (Грузія) та «Танго» (Іспанія) для першого сорту, а «Нова» (Пакистан) – для другого.

Список використаних джерел

1. *АПК-Інформ:* овочі та фрукти [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.fruit-inform.com/ru.

2. *Кузнецов А*. Мандарин – оранжевая польза [Электронный ресурс] /А. Кузнецов. – Режим доступа : http://hnb.com.ua/articles/s-zdorovie-mandarin_oranzhevaya_polza-622.

3. *ГОСТ 4428-82*. Мандарины. Технические условия. – Введ. 1983-10-01. – М. : Изд-во стандартов, 2011.

УДК 664.71-11:006.03

І.А. Оносова, канд. екон. наук
О.В. Кудінова, канд. біолог. наук
Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, м. Донецьк, Україна

ІНСПЕКТУВАННЯ ТА РЕЄСТРАЦІЯ ДОМІШОК У ЗЕРНІ ПШЕНИЦІ В КОНТЕКСТІ ВИМОГ СОТ

У статті наведено показники домішок зерна пшениці у стандартах деяких інспекційних систем країн світу і України, проведено порівняння методів їх визначення, встановлено відмінності, здатні вплинути на результати визначення в умовах міжнародної торгівлі у межах СОТ.

Ключові слова: *зерно, пшениця, системи інспектування, якість, безпечність, домішки, трансгенні сорти.*

В статье приведены показатели примесей зерна пшеницы в стандартах некоторых инспекционных систем стран мира и Украины, проведено сравнение методов их определения, установлены отличия, способные повлиять на результаты определения в условиях международной торговки в рамках СОТ.

Ключевые слова*: зерно, пшеница, системы инспектирования, качество, безопасность, примеси, трансгенные сорта.*

The indices of wheat grain quality in the standards of some inspection systems of the world countries and Ukraine are given, methods of their determination are compared, the differences that can influence upon the results of determination during export and import operations are set in the article.

Key words*: corn, wheat, inspection systems, quality, safety, impurities, transgenic varieties.*

Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Всесвітня торгова організація регулює торгово-політичні відносини її учасників. Членами СОТ є понад 150 країн, на їх частку припадає понад 95 % світового торговельного обороту. Практично кожна держава, яка претендує на створення сучасної, ефективної економіки та рівноправну участь у світовій торгівлі, прагне стати членом СОТ. Участь у СОТ надає країні багато переваг. Конкретними цілями приєднання до СОТ можна вважати такі: отримання кращих, порівняно з існуючими, і недискримінаційних умов для доступу продукції на іноземні ринки; доступ до міжнародного вирішення суперечок; створення більш сприятливого клімату для іноземних інвестицій у результаті приведення законодавчої системи у відповідність з нормами СОТ; розширення можливостей для інвесторів у країнах-членах СОТ; створення умов для підвищення якості і конкурентоспроможності вітчизняної продукції в результаті збільшення потоку іноземних товарів, послуг та інвестицій на внутрішній ринок; участь у виробленні правил міжнародної торгівлі з урахуванням національних інтересів; покращення іміджу країни у світі як повноправного учасника міжнародної торгівлі [1].

Умови роботи України у межах СОТ докорінно змінили підходи до комплексу науково-технічних, економічно-господарських та економічних заходів зернового ринку, насамперед щодо нормативно-технічної, виробничої та інфраструктурної основи, адже відмінності в методах інспектування та реєстрації результатів можуть викликати значні технічні проблеми і призвести до фінансових втрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями особливостей інспектування зерна пшениці займається багато сучасних науковців. У роботах М.М. Городнього [2], М.О. Рябченка [3] повною мірою викладено вимоги до якості і безпеки зерна в Україні та методів щодо їх визначення. Проблемами гармонізації українського нормативного законодавства у напрямку визначення показників та порівняння методів їх визначення у міжнародній торгівлі займаються такі фахівці, як Ф.О. Попереля, І.Г. Топораш, А.М. Хейфець, М.Г. Парфентьєв, Л.С. Лифенко, М.В. Червоніс, В.Ф. Небеленчук, М.М. Городній, С.Д. Мельничук, О.М. Гончар.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження згаданих науковців стосуються більшою мірою методологічних, теоретичних аспектів та методичного інструментарію сучасного технічного регулювання зерна пшениці в Україні та його співставлення з міжнародними вимогами. Водночас не дістали належного висвіт-

лення питання щодо ідентифікації, інспектування та реєстрації домішок (у тому числі і зерна трансгенних сортів) як важливого показника якості і безпечності зерна пшениці.

Метою статті є порівняння вимог до інспектування та реєстрації домішок зерна та методів їх визначення в контексті світових вимог.

Викладення основного матеріалу досліджень. Об'єктивне оцінювання якості зерна на міжнародному ринку може бути встановлено лише за умови відповідності вимогам конкретного контракту, який, у свою чергу, враховує вимоги відповідної інспекційної системи.

Найбільш поширеними і сприятливими для аналізу інспекційними системами щодо якості зерна і методів її визначення є Федеральна зернова інспекція США (FGIS), Міжнародне товариство хіміків (ICC), Міжнародна організація стандартизації (ISO), Американська асоціація зернових хіміків (AACC).

Для визначення показників якості зерна існують сотні міжнародних стандартів на методи визначення показників якості зерна та продуктів його переробки при будь-яких операціях із зерном у світовій торгівлі цими методами визначається якість зерна в кількох лабораторіях обома сторонами – продавцем і покупцем зерна, як при його завантаженні, так і при розвантаженні зерна в місці призначення. Офіційними визнаються результати, отримані тільки в лабораторіях, оснащених сучасним лабораторним обладнанням і які раз у півроку проходять міжнародну сертифікацію за вимогами GAFTA, FOSFA, ICUMSA та інших.

Контроль якості зерна при експортно-імпортних операціях проводиться по кожній партії. Партія зерна – це відповідна кількість зернової маси, однорідної за якістю та призначеної для зберігання чи реалізації [4].

Першим кроком в інспекційних процедурах є органолептична оцінка і встановлення однорідності партії, після якої проводять відбір проб. Під час отримання проби завжди слід перевіряти методику відбору проби й оцінювати, наскільки вона є репрезентативною.

Сторонні матеріали (каміння, шматки металу, деревини тощо), виявлені за візуального огляду партій зерна під час приймання, відвантаження і зберігання, мають бути вилучені. У кожній партії пшениці визначають стан зерна, зернову і сміттєву домішки. Показники безпеки визначають за сформованими партіями.

Пшеницю, в якій домішка інших злакових та зернобобових культур становить понад 15 % від загальної маси зерна разом з домішками, приймають як суміш пшениці з іншими культурами та зазначають її склад у відсотках.

В Україні відбір проб здійснюється відповідно до ДСТУ 3355, ДСТУ ISO 3690, ГОСТ 13586.3.

Відповідно до американського законодавства мінімальний розмір проби для пароплавних і баржевих партій зерна становить 500 г на кожні 2000 бушелів (54432 кг). Репрезентативна проба складається з випробуваної проби зерна і (за потребою) контрольного зразка. Якщо існують умови, за яких дефект може не виявитися у відібраній на перевірку репрезентативній пробі, оцінювання якості можна провести по всій партії зерна під час забору проби згідно з методикою, запропонованою інструкціями FGIS.

До основного зерна пшениці в українському стандарті ДСТУ 3768-2010 [5] відносять: цілі та пошкоджені зерна пшениці, за характером їхніх ушкоджень не відносяться до сміттєвої та зернової домішок; зерно із забарвленим зародком (у м'якій пшениці групи А до 8 % включно, у м'якій пшениці групи Б і 6-го класу – до 30 % включно), у м'якій пшениці 6-го класу – зерна і насіння інших зернових та зернобобових культур, не віднесені відповідно до стандартів на ці культури за характером цих ушкоджень до сміттєвої та зернової домішок. У стандарті відсутні найменування ботанічних видів. Не вказані вони і в інших нормативних документах. Згідно з чинним ДСТУ 2422-94 «Зерно

заготівельне і постачальне. Терміни та визначення» відсутнє як саме визначення пшениці, так і перелік ботанічних видів, на які розповсюджується стандарт [6]. При цьому відомий факт, що в Україні в теперішній час вирощують два ботанічних види пшениці – Triticum durum Desf. – тверда пшениця і Triticum aestivum L. – звичайна пшениця або м'яка пшениця. Згідно з даними Державного реєстру сортів в Україні районовано 193 сорта озимої м'якої пшениці (Triticum aestivum L.) і 24 сорта є перспективними [7].

В американському стандарті «Офіційні стандарти США на зерно, підрозділ М – Стандарти на пшеницю» наведено визначення пшениці, що включає назви ботанічних видів, на які зазначений стандарт поширюється. Відповідно до стандартів США пшеницею є зерно, яке до видалення докеджа містить не менше 50 % пшениці звичайної (Triticum aestivum L.), пшениці карликової (Triticum compactum Host.), пшениці дурум (Triticum durum Desf) і не більше 10 % зерна інших культур, на які встановлені стандарти на підставі Закону США про стандарти на зерно, і яке після видалення докеджа містить не менше 50 % цілих зерен однієї або декількох видів цих пшениць [8].

Американський стандарт визначає докедж як весь матеріал, відмінний від пшениці, легко і швидко відокремлюваний від неї, для видалення якого не потрібно складного обладнання, використовуваного в зерноочисних відділеннях млинів. До докеджу відносять також недорозвинені, зморщені зернівки і дрібні частинки зерна пшениці, що видаляються з непшеничними домішками і не залишаються при повторному просіюванні або очищенні.

Відповідно до методів ICC фракція «домішки і полова» визначається просіюванням проби через 1 мм сито, а з відсівів вибираються камені, грязьові грудочки, солома і полова та додаються до проходу через сито.

У стандартах ISO "стороння домішка" визначається як фракція, що визначається просіюванням через сито 3,55 мм і весь прохід через сито 1 мм, до якого додаються інші органічні компоненти, не зумовлені іншим способом, і всі неорганічні компоненти.

В Україні крупну сміттєву домішку вибирають з попереднім просіюванням через сито. Середню пробу просіюють круговими рухами через сито з отворами діаметром 6 мм. Крупну домішку вибирають вручну зі сходу сита. Крупними вважають домішки, які перевищують за розмірами зерно основної культури (пшениці). Колоски відносять до сміттєвої домішки після того як вилучать із них зерна. Виділену домішку поділяють на фракції, які враховують за стандартом на пшеницю. Вміст явно вираженої зернової і сміттєвої домішок визначають після звільнення середньої проби від крупних сміттєвих домішок.

Діаметр отворів сит для визначення проходу, що належить до сміттєвої домішки в Україні, становить 1 мм, що збігається з методами ICC.

Після цього першого кроку в більшості систем інспектування проба пшениці далі аналізується на наявність дефектів, дрібних, битих зерен, сміттєвої домішки та іншого зерна.

Під час застосування стандартів США, ICC або ISO часто, незважаючи на схожість у термінології, отримують суттєві відмінності в результатах. Крім цього, в окремих європейських країнах мають місце різні методи інспектування, що приводить до існування безлічі визначень понять і відмінностей у них, особливо під час аналізу пошкоджених, дрібних і битих зерен.

За стандартами США для визначення фракції дрібних зерен використовуються сита розміром від 1,626 мм. Тому до битих зерен в американських стандартах відносять весь прохід через сито 1,626 мм, а всі биті зерна більш 1,626 мм вважаються виконаними і здоровими. При цьому за стандартами ICC і ISO більш великі биті зерна відбираються окремо і вказуються як дефекти.

За стандартами деяких європейських країн для визначення фракції дрібних зерен використовуються сита розміром до 2,2 мм. Існують стандарти, де в межах зазначених

величин крок розміру сита визначений в 0,1 мм. В Україні використовуються сита розміром 1,7х20 мм.

На думку фахівців [2; 3; 4], товщина матеріалу і довжина отворів у ситах з однаковою шириною отворів можуть впливати на результати або в бік збільшення, або зменшення.

Відповідно до ДСТУ 3768:2010 [3] виділяються домішки органічного і неорганічного походження, що поділяються на зернову та сміттєву. До зернової домішки в Україні відноситься: биті, невиповнене, проросле, пошкоджене теплом, поїдене шкідниками, із забарвленим зародком зерно та зерно злакових культур (тритикале, жито, ячмінь).

Інспектування для визначення пошкоджених або невиповнених зерен в Україні є в основному візуальним і може приводити до деяких суб'єктивних суджень. Американський інспектор використовує як довідковий матеріал набір слайдів, що містить фотографії всіх можливих пошкоджень і дефектів зерна. Тому американська система інспектування на наявність пошкоджень та дефектів зерна в найменшій мірі схильна до особистих думок, тобто максимально не допускає суб’єктивізм.

До сміттєвої домішки пшениці в Україні відносять: прохід крізь сито з розміром отворів 1,0х20,0 мм, що відносять до мінеральної домішки і шкідливу домішку у залишку на ситі з розміром отворів 1,0х20,0 мм; мінеральну, органічну та шкідливі домішки, зіпсовані зерна пшениці, жита, тритикале, ячменю із повністю виїденим ендоспермом.

Окремо визначають вміст токсичних та шкідливих домішок, до яких віднесено спорињю, зерна, пошкоджені нематодом, пажитниця п’янка, в’язіль різнокольоровий, гірчак повзучий, софора лис хвоста, геліотроп опушеноплідний, триходесма сива, термопсис ланцетоподібний, тверда або мокра сажка [5].

Визначення сміттєвої домішки може також бути причиною для плутанини. За американською системою інспектування бур’янистою домішкою вважається весь матеріал непшенічного характеру, що залишився у зразку після видалення докеджа і битих зерен. Інші зернові вважаються також бур'янистою домішкою.

За умовами стандартів ICC і ISO категорія сміттєва домішка не виділяється окремо, однак є окрема категорія «інші зерна». У контрактній специфікації «сміттєва домішка» іноді вказується як весь непшеничний або незерновий матеріал, який містить багато компонентів із категорії американського «докеджа», категорії ICC «брудна стороння домішка» або категорії ISO «сторонній матеріал».

За українськими підходами насіння бур’янів відноситься до шкідливої сміттєвої домішки, а інші незіпсовані зернові культури до зернової домішки. Відомий факт, що деяке насіння бур’янів отруйне і його важко відокремити від зерна основної культури через близькі параметри їх розмірів і питому вагу насіння бур’янів [4].

Проведений аналіз проказав, що ні одна із світових інспекційних систем не визначає і ніяк не класифікує зерно пшениці трансгенних сортів.

Нині на Україні щорічно обробляється на площі понад 1,5 млн гектарів трансгенних сортів багатьох сільськогосподарських культур, таких як кукурудза, ріпак, буряк, соя, а також пшениця [9]. У зв’язку з цим логічним було б виділити наявність зерна трансгенних сортів пшениці, які під час перезапилення із звичайними сортами різко погіршують їх насінницькі та якісні кондиції, особливо для супереліти та еліти. Тому доцільно у стандарті прийняти класифікацію домішок, що включає зерно трансгенної пшениці.

В остаточному підсумку врахування виділених розбіжностей між системами інспектування сприятиме підвищенню якості та безпеки зерна, своєчасному виділенню партій, що знижують його товарознавчо-технологічні характеристики, забезпечити більш високий рівень якості та безпеки в Україні. Крім того, такі зміни дозволять наблизити українські стандарти до міжнародних, що має сприяти можливості збільшення обсягів експорту та підняттю ціни українського зерна на міжнародних ринках.

Висновки і пропозиції. Показники засміченості пшениці та методи їх інспектування мають значні розбіжності і залежать не тільки від країни, а й від інспекційної системи, що проводить дослідження. Найбільшу проблему сьогодні представляють показники, що обумовлюють включення зерна пшениці до окремих фракцій, і термінологія щодо їх ідентифікації.

На результати визначення показників у сторону збільшення або зменшення засміченості зерна пшениці впливають не тільки встановлені розміри отворів сит, а й товщина матеріалу в ситах з однаковою шириною отворів, тому в інспекційні стандарти слід залучати точні специфікації сита і можливі допуски.

Необхідно прийняти класифікацію і внести в нормативні документи зерно трансгенної пшениці та його кількісну градацію, що дозволить зберегти високі показники якості і безпеки вирощуваних сортів пшениці в Україні.

Список використаних джерел

1. *Черняева К.* Так ли страшна ВТО, как ее малюют? / К. Черняева // Новый аграрный журнал. – 2011. – № 3. – С. 16-19.

2. *Прикладна* біохімія та управління якістю продукції рослинництва : підручник / М. М. Городній, С. Д. Мельничук, О. М. Гончар [та ін.] ; за ред. М. М. Городнього. – К. : Арістей, 2006. – 484 с.

3. *Рябченко Н. А.* Продовольственное зерно: качество и безопасность : монография / Н. А. Рябченко. – Донецк : ДонНУЭТ, 2009. – 778 с.

4. *Шемавньов В. І.* Практикум з технології зберігання та переробки зерна / В. І. Шемавньов, Н. В. Грекова, О. М. Олексюк. – Дніпропетровськ : ДДАУ, 2005. – 200 с.

5. *Пшениця.* Технічні умови: ДСТУ 3768-2010. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. – 14 с.

6. *Зерно* заготівельне і постачальне. Терміни та визначення : ДСТУ 2422-94. – К. : Держспоживстандарт України, 1994. – 26 с.

7. *Державний* реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні у 2010 році / Міністерство аграрної політики України, Державна служба з охорони прав на сорти. – К. : Алефа, 2009. – 230 с.

8. *Сопоставление* товарных классификаций зерна пшеницы в стандартах США и России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.uswheat.ru/standards.pdf.

9. *ГМО* в сырье и продуктах питания : монография / под ред. Н. А. Рябченко. – Донецк : ДонНУЭТ, 2012. – 142 с.

УДК 677.027.42:667.28

О.Б. Хребтань, канд. техн. наук
Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПОФАРБУВАННЯ ПАЛЬТОВИХ ВОВНЯНИХ ТКАНИН ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ ОБРОБКАМИ КИСЛОТНИМИ МЕТАЛОКОМПЛЕКСНИМИ БАРВНИКАМИ

Досліджено специфічність пофарбування пальтових вовняних тканин зі спеціальним обробленням кислотними металокомплексними барвниками. Виявлено, що барвники цієї групи мали найбільшу спорідненість до волокон вовняних тканин і забезпечували близьке до еталонного пофарбування. Спеціальне оброблення вовняних пальтових тканин не зменшило якісних характеристик пофарбування. Запропоновано подальше дослідження впливу кислотних металокомплексних барвників на вовняні пальтові тканини зі спеціальним обробленням.

Ключові слова: *пальтові вовняні тканини, спеціальне оброблення, кислотні барвники, металокомплексні барвники комплексу 1:1 та 1:2, методи порівняльного пофарбування.*

Исследована специфичность окрашивания пальтовых шерстяных тканей со специальными обработками кислотными металлокомплексными красителями. Выявлено, что красители этой группы имели наибольшее сродство к волокнам шерстяных тканей и обеспечивали близкое к эталонному окрашиванию. Специальные обработки шерстяных пальтовых тканей не уменьшили качественные характеристики окрашивания. Предложено дальнейшее исследование влияния кислотных металлокомплексных красителей на шерстяные пальтовые ткани со специальными обработками.

Ключевые слова: *пальтовые шерстяные ткани, специальные обработки, кислотные красители, металлокомплексные красители комплекса 1:1 и 1:2, методы сравнительного окрашивания.*

The object of investigation is specificity of coloring with acid metal-complex colorant of coat woolen fabrics with special finishing. It is detected that colorants of this group had maximal similarity with woolen fabric fiber and provided coloring very close to standard. Special finishing of woolen fabrics didn't decrease quality values of coloring. It was proposed to continue investigation of influence of acid metal-complex colorants on woolen coat fabrics with special finishing.

Key words: *coat woolen fabrics, special finishing, acid colorants, metal-complex colorants of complex 1:1 and 1:2, methods of comparative coloring.*

Постановка проблеми. Особливістю сучасного напряму розроблення асортименту пальтових тканин є підвищення вимог споживачів до їх естетичних властивостей.

Нині для споживача під час вибору тканини для верхнього одягу більш важливі – оригінальність фактури та колористики, стильність дизайнерського задуму. Для молоді, за результатами опитування, неважливі технічні характеристики тканин для одягу, а найважливіші – відповідність моді, стилю, сучасність дизайну. Отже, саме естетичні властивості, в більшості випадків, визначають конкурентоспроможність пальтових тканин.

Формування естетичних властивостей тканин залежить від естетичних потреб споживачів, які можна визначити: сучасністю форми, гармонійним поєднанням функціональної сутності тканини з її естетичною формою. Тканини, які не відповідають сучасним напрямам моди, з невисоким рівнем якісних показників, частково або повністю втрачають свою споживну цінність. Відповідність моді та стильність пальтової тканини визначають її престижність. Вироби, пошиті з престижної, модної тканини – це імідж успішної людини, вони надають їй упевненості у собі, створюють гарний настрій. Текстильні вироби, особливо одяг, – це предмет декоративно-ужиткового мистецтва, матеріальні цінності, які задовольняють естетичні потреби людини.

Перше сприйняття текстильного матеріалу відбувається під час визначення його кольору. Особливості колористичного оформлення можна назвати одним із головних і вирішальних чинників під час вибору споживачем тканини.

Під час опитування споживачів, які купували тканини, було встановлено, що їх приваблювали саме показники естетичних властивостей: колористичне оформлення тканини, структура поверхні, відчуття на дотик (туше).

Колористичне оформлення текстильних матеріалів формується під час технологічного процесу фарбування та оброблення. Як показали сучасні дослідження, найбільш оптимальними для пофарбування вовняних тканин є кислотні металокомплексні барвники.

За хімічною будовою кислотні барвники поділяються на три групи:

1. Кислотні барвники звичайні.

2. Кислотні металокомплексні барвники, що фарбують із сильнокислих ванн.

3. Кислотні металокомплексні барвники, що фарбують зі слабокислих ванн.

До першої групи входять, в основному, азобарвники, антрахінонові та арилметанові.

До другої групи відносять кислотні азобарвники, в яких одна молекула барвника комплексно пов'язана з одним атомом хрому – комплекс 1:1.

До третьої групи входять кислотні азобарвники, в яких дві молекули барвника комплексно пов'язані з одним атомом хрому – комплекс 2:1. У ролі груп, які сприяють розчинності, виступають сульфамідні або алкілсульфонові групи.

За хімічною природою ці барвники являють собою комплексне сполучення молекул барвної речовини, атомів металу та кислотних груп.

Залежно від числа фарбувальної речовини та числа кислотних груп у комплексі ці барвники поділяють на:

1. 1:1 металокомплексні барвники з вільною сульфогрупою (рис. 1).

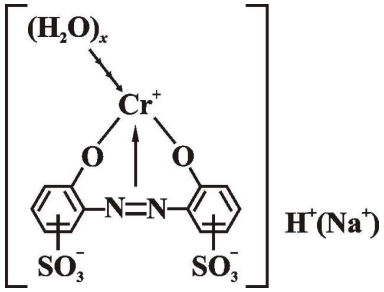


Рис. 1. Хімічна формула першої групи металокомплексних барвників (1:1) з вільною сульфогрупою

2. Металокомплексні барвники, які прореагували з безкольоровим комплексоутворюючим препаратом 1:1 і містять групи, що надають барвнику розчинності, але не мають у своєму складі сульфогрупи (рис. 2).

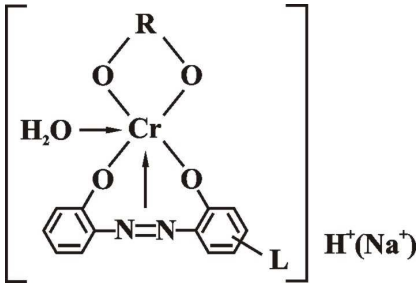


Рис. 2. Хімічна формула другої групи металокомплексних барвників (1:1) без сульфогруп

3. Металокомплексні барвники 1:2, які мають у своєму складі розчинні групи, але не містять сульфогрупи (рис. 3).

3.1. Металокомплексні барвники 1:2, які не мають у своєму складі розчинних груп (L = H).

3.2. Металокомплексні барвники із сульфогрупами (L = SO_3H).

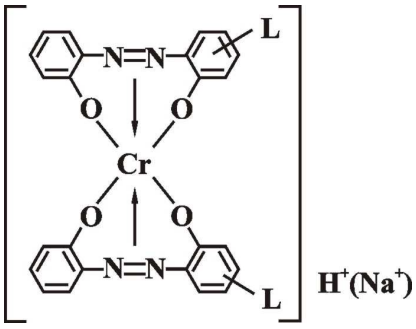


Рис. 3. Хімічна формула третьої групи металокомплексних барвників 1:2

Центральний позитивно заряджений трьохвалентний атом хрому пов'язаний з чотирма кислотними фенольними ОН-групами, тому комплекс барвника заряджений негативно. Пофарбування з використанням цих барвників ведуть при pH = 4,0-5,0 (встановлюється за допомогою оцтової кислоти та ацетатом амонію), що сприяє збереженню властивостей волокон вовни. Такі барвники мають гарні міграційні та вирівнюючі властивості, що важливо для велюрових пальтових тканин.

Барвники комплексу 2:1 фарбують вовну з нейтральних або слабокислих ванн при pH 5-6,5. Їх найважливіша властивість – можливість фарбування різних сортів вовни одночасно, тобто у суміші. Ця властивість забезпечує одержання рівномірного пофарбування тканин, в яких використовувалася вовна різних сортів та видів.

Отже, правильний підбір барвників, текстильно-допоміжних речовин для фарбування – важливий процес виробництва пальтових вовняних тканин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Починаючи з відкриття першого синтетичного барвника, фарбування текстильних матеріалів зазнало великих та прогресив-

них змін. Сьогодні продовжується синтез барвників нових марок. Синтетичні барвники значно краще і дешевше природних барвників, тому що можуть поєднувати безліч колористик та відтінків кольору, утворюючи неповторні та оригінальні гамми. Разом з використанням синтетичних барвників удосконалюються і способи фарбування. Щодо питань з теорії та практики фарбування вовняних тканин, світове значення здобули наукові роботи таких учених: Гергард Нічке, Р.Х. Петерс, О.Л. Бяльський, В.В. Карпов, Л.І. Біленький, Н.С. Овечкіс, Ф.І. Садов, І.Я. Калонтаров, І.А. Шиканова та інші.

Проблемі фарбування текстильних матеріалів та вовняних пальтових тканин, зокрема, не приділяється сьогодні необхідної уваги. Адже більшість наукових розробок спрямована на дослідження фарбування синтетичних тканин та нетканих матеріалів, які імітують вовняні та інші натуральні тканини. Це пов'язано, в першу чергу, зі скороченням виробництва вовняних пальтових тканин і зменшенням їх реалізації на вітчизняному ринку. Закордонні ж замовники, навпаки, збільшують закупівлю вовняних тканин у всьому світі і в Україні в тому числі. Для підвищення конкурентоспроможності вітчизняних текстильних товарів необхідно розробити принципово нові підходи до всього обробного виробництва вовняних тканин з виділенням пріоритетних напрямів: наукового обґрунтування застосування барвників, текстильно-допоміжних речовин та їх суміщення для вовняних текстильних матеріалів.

Мета статті. Метою статті є дослідження використання кислотних металокомплексних барвників для пофарбування пальтових вовняних тканин зі спеціальним обробленням.

Виклад основного матеріалу. Фарбування у волокні проводилося на фарбувальному апараті АКДН – 50/800 в апаратно-прядильному виробництві. Фарбувальний апарат АКДН – 50/800 має завантаження 50 кг і внутрішній діаметр бака – 800 мм. Зразки 1, 2, 6 фарбували перед прядінням.

Фарбування зразків 3, 4, 5, 7 відбувалося після ткацтва. Для здійснення фарбування цих зразків застосовували фарбувальні машини МКПШ – 1 та Fammit (виробництва Італії). Фарбування на машині Fammit відбувалося із застосуванням системи переливання, що сприяло збереженню ворсової поверхні пальтових вовняних тканин під час оброблення.

Різні режими та способи фарбування дослідних зразків були пов'язані з різницею в їх структурах та технічних характеристик.

У процесі фарбування дослідних зразків пальтових тканин використовували барвники:

– кислотні металокомплексні комплексу 1:1;

– кислотні металокомплексні комплексу 2:1.

Характеристика барвників наведена в табл.

Таблиця

Характеристика барвників, використаних під час фарбування пальтових вовняних тканин

Назва барвника, марка	Група, підгрупа	Виробник, країна	Хімічний склад барвника
Доролан сірий EG; Доролан чорний M-RX; Доролан жовтий	Металокомплексні комплексу 1:2	M. Dohmen GmbH, Німеччина	Азобарвники, які не мають у своєму складі сульфогрупи
Неолан А; Неолан Р	Металокомплексні комплексу 1:1	Hundsmann – Ciba, США-Швейцарія	Суміш азо- і металокомплексних барвників

Кислотними металокомплексними барвниками фарбували із сильнокислих ванн (рис. 4).

Під час фарбування поєднували Неолани з препаратом Albegal Plus (вирівнювачем фарбування) з метою створення специфічного хімічного комплексу pH=3,5-4 для отримання відтінків на тканинах.

Albegal Plus є рідкою амфотерною допоміжною речовиною, яка має спорідненість як до барвників марок Неоран А та Неолан Р, так і до вовняного волокна.

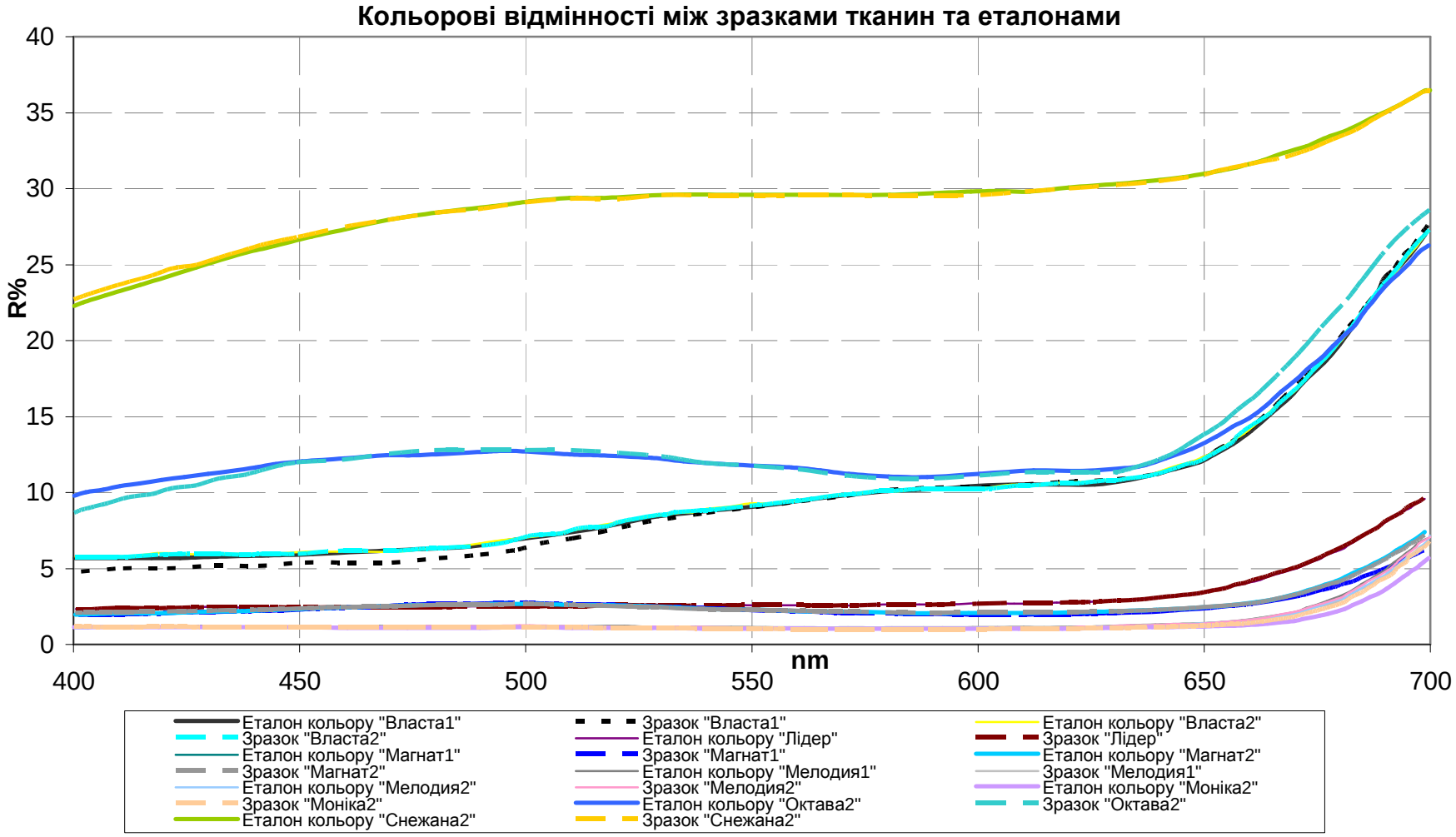


Рис. 4. Результати порівняння пофарбування зразків тканин зі спеціальним обробленням зі зразками-еталонами цих тканин, одержані на спектрофотометрі

Використовували під час пофарбування 2-3 % Albegal Plus, що сприяло високій рівномірності пофарбування та вибиранню барвника. Крім препарату Albegal Plus, вводили у фарбувальну ванну до 10 % ангідриду глауберової солі для міцного закріплення барвника на волокні. Неолани А та Неолани Р мають високу ступінь вибирання, що сприяє якісному відтворенню відтінка фарбування. При цьому немає необхідності використовувати сірчану кислоту для буферного розчину, як це відбувається під час звичайного фарбування. Відтінки на досліджуваних пальтових тканинах отримували за допомогою зміни концентрації барвників в основній тріаді: Неолан Р жовтий + Неолан Р червоний + Неолан Р синій. Доповнюється тріада Неоланом А фіолетовим та Неоланом А блакитним.

Кислотні металокомплексні барвники 2:1 – Доролани використовували для фарбування зі слабокислих і нейтральних ванн. Волокнами вовни ці барвники вибираються повільно. Однак властивість цих барвників проявляти свою фарбувальну дію у слабокислих або нейтральних ваннах є великою перевагою цієї групи барвників перед усіма іншими тому, що можна уникнути будь-якого пошкодження волокон вовни.

Після проведення пофарбування зразки пальтових вовняних тканин із спеціальною обробкою порівнювалися з еталонними зразками цих самих тканин (зі стандартною обробкою підприємства) на спектрофотометрі.

На рис. 4 наведені результати порівняння зразків із спеціальним обробленням зі зразками-еталонами, одержані на спектрофотометрі.

З рисунка бачимо, що зразки із спеціальною комплексною обробкою не мали суттєвих змін колірних характеристик порівняно зі зразками-еталонами. Так, у зразка 5 колірний тон пофарбування взагалі не змінився порівняно з еталоном. Сумарне колірне відхилення ΔE було незначним – 0,07, це свідчить про те, що колір зразка 5 із спеціальною обробкою був дуже близький до еталонного. Отже, спеціальна обробка не мала негативного впливу на колористичні характеристики пальтових вовняних тканин, а кислотні металокомплексні барвники виявили високу закріплюючу здатність на цих тканинах.

Висновки і пропозиції

1. Для пофарбування пальтових вовняних тканин зі спеціальною обробкою застосовували кислотні металокомплексні барвники комплексів 1:1 та 2:1.

2. Після проведення пофарбування установили, що пальтові тканини зі спеціальною обробкою не мали суттєвих змін пофарбування і за колористичними характеристиками були дуже близькі до еталонних зразків, що підтвердилося під час порівняння зразків на спектрофотометрі.

3. Найкращі результати виявилися у зразка 5, який не мав видимих змін пофарбування порівняно з еталонним зразком.

4. Більш усього колірна різниця спостерігалася у пальтових тканин без обробки.

5. Результати досліджень підтвердили доцільність використання для пальтових вовняних тканин із спеціальною обробкою кислотних металокомплексних барвників.

6. Необхідним є подальше дослідження впливу різних груп і марок барвників на якість пофарбування пальтових вовняних тканин. Актуальною є також проблема правильного поєднання барвників, текстильно-допоміжних речовин та спеціальних обробок для покращення зовнішнього вигляду та підвищення конкурентоспроможності пальтових вовняних тканин.

Список використаних джерел

1. *Ворожцов Г. Н.* Развитие ассортимента красителей для легкой промышленности / Г. Н. Ворожцов, В. В. Карпов. – М., 1990. – 39 с.

2. *Красители* для текстильной промышленности : колористический справочник / под ред. А. Л. Бяльского, В. В. Карпова. – М. : Химия, 1997. – 442 с.

3. *Красители* органические. Методы сравнительного окрашивания натуральных волокон : ГОСТ 7925-75 (СТ СЭВ 5370-85, СТ СЭВ 4271-83, СТ СЭВ 4801-84, СТ СЭВ 5371-85). – [Действит. с 1976-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 40 с.

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 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 ЧДТУ.

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);
– квитанцію про сплату вартості публікації наукової статті (Додаток В);
– згоду на публікацію у формі договору про передачу права на використання твору (Додаток Г).

2. Вимоги до наукової статті. Наукова стаття повинна відповідати тематичному спрямуванню збірника і бути завізована власноручно на першій сторінці підписом автора.

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 **(у зв'язку з включенням до міжнародної наукометричної бази даних eLIBRARY.RU вся інформація про авторів, 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.
Відступ від верхнього та нижнього колонтитула – 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 обґрунтована її актуальність (обсяг – 8-10 рядків). У статті подаються анотації трьома мовами: українською, російською, англійською (Додаток А).

Ключові слова – шрифт Times New Roman (кегель 9), вирівнювання по ширині, абзацний відступ 0,63 см, одинарний інтервал. Ключові слова подаються трьома мовами. Кількість ключових слів – 5-7 (Додаток А).

Основний текст – текст статті з заголовками (вирівнювання по ширині, абзац – 0,63 см, шрифт Times New Roman (кегель 12), одинарний інтервал).

Розділи статті (Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Мета статті. Виклад основного матеріалу. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел) 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, схеми, діаграми) – 1;
– назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми – їхні назви) – 1;
– нижній край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – 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:

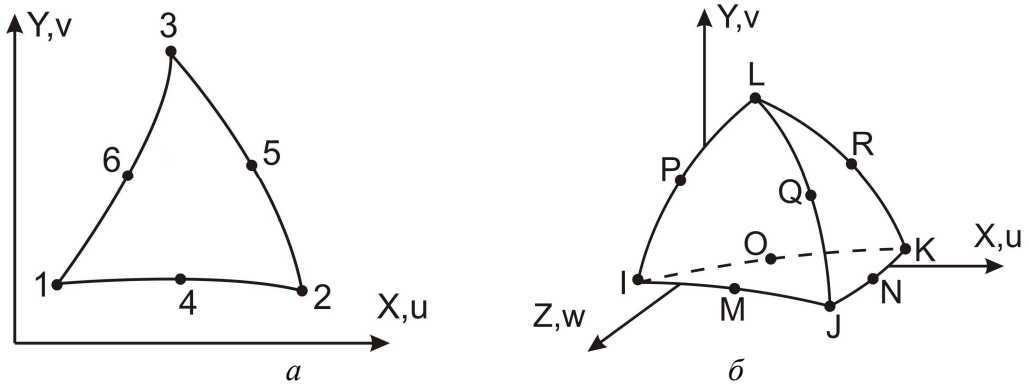


Рис. 3. Види скінченних елементів:
а – 6-вузловий плоский скінченний елемент і б – 10-вузловий об'ємний скінченний елемент

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.	$V_к$, м/с	$V_{дет}=V_к/60$	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. Обов'язково подають розшифровку літерних позначень величин у формулах. Для набору позначень фізичних величин використовують редактор формул Microsoft Equation для WINDOWS.

Номер формули проставляється справа в кінці рядка в круглих дужках, не виходячи за поле. Формули необхідно вирівнювати по лівому краю сторінки. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Наприклад:

Пропонується зношення круга визначати пропорційним кількості зрізів більших граничного значення $(a_z)_{max}$:

$$Q_a(a_z) = C_1 \cdot a_z^{k_1} \cdot F(a_z) + C_2 \cdot a_z^{k_2} (1 - F(a_z)), \quad (2)$$

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, котрі визначають частку товщини зрізів, менших та більших вказаного граничного значення a_z. Інтегральна функція розподілу ймовірностей товщини стружок була знайдена за моделлю процесу шліфування в роботі [7].

7. Список використаних джерел необхідно складати за вимогами ВАК України (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 **40 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.

Контактні особи: 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. Прокопець, магістрант
Є.Ю. Коваленко, магістрант
НТУУ «КПІ», м. Київ, Україна

БЕЗКОНТАКТНА ЗАРЯДКА АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

А.В. Будённый, канд. техн. наук
М.А. Прокопец, магистрант
Е.Ю. Коваленко, магистрант
НТУУ «КПИ», м. Киев, Украина

БЕСКОНТАКТНАЯ ЗАРЯДКА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

O.V. Budyonny, candidate of technical sciences
M. A. Prokopets, the master
E. Y. Kovalenko, the master
NTUU "KPI", Kiev, Ukraine

CONTACTLESS CHARGING BATTERIES

Пропонується використання безконтактного заряду акумуляторних батарей на основі теорії тесліівських процесів для передачі енергії без дротів на невеликі відстані. Розрахунок енергетичних параметрів схеми передачі енергії проводився методом часткових ємностей між передавальними та приймальними антенами з урахуванням крайових ефектів. Проведено аналіз залежності струму та напруги навантаження від таких факторів: зміщення розташування пристрою, який заряджається, відносно центру блоку підзарядки; відстані між передавальними та приймальними антенами; значення індуктивності в навантаженні; робочої частоти.

Ключові слова: *безконтактна зарядка, батареї, процеси, енергія.*

Предлагается использование бесконтактного заряда аккумуляторных батарей на основе теории тесловских процессов для передачи энергии без проводов на небольшие расстояния. Расчет энергетических параметров схемы передачи энергии проводился методом частичных емкостей между передаточными и приемными антеннами с учетом краевых эффектов. Проведен анализ зависимости тока и напряжения нагрузки от таких факторов: смещение расположения устройства, которое заряжается, относительно центра блока подзарядки; расстояния между передающими и приемными антеннами; значение индуктивности в нагрузке; рабочей частоты.

Ключевые слова: *бесконтактная зарядка, батареи, процессы, энергия.*

The use of noncontact charge of storage batteries is offered on the basis of theory of Tesla processes for the transmission of energy without wires on small distances. The calculation of power parameters of chart of transmission of energy was conducted the method of partial capacities between transmission and receiving aerials taking into account edge effects. The analysis of dependence of current and tension of loading is conducted from such factors: displacement of location of device, what recharging, in relation to the center of subcharging block; distances are between transmission and receiving aerials; a value of inductance is in loading; working frequency.

Key words: *noncontact charge, batteries, processes, energy.*

Постановка проблеми. …
Аналіз останніх досліджень і публікацій. …
Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. …
Мета статті. Головною метою цієї роботи є …
Виклад основного матеріалу. …
Висновки і пропозиції. …

Список використаних джерел

1. Основные источники электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ecololife.ru/study-539-1.html.
2. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц // Теоретическая физика. Том 8. – 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			
Контактна інформація	роб. тел.		
	дом. тел.		
	моб. тел.		
	e-mail		
Дата і підпис автора			

Додаток В

Бланк квитанції для оплати публікації

Заява на переказ готівки

Дт 1002 Ідентифікаційний код 05460798

Кт 31250273210037

Одержувач платежу Чернігівський державний технологічний університет

Дата здійснення операції

Дата валютування

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДК. Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника

Адреса платника

Призначення платежу за видання у збірнику 25010200

Сума

Загальна сума

(словами)

Підпис платника

Касир

Квитанція

Дт 1002 Ідентифікаційний код 05460798

Кт 31250273210037

Одержувач платежу Чернігівський державний технологічний університет

Дата здійснення операції

Дата валютування

Код установи банку 853592

Найменування установи банку ГУДК. Укр. в Чернігівській області

Прізвище, ім'я, по-батькові платника

Адреса платника

Призначення платежу за видання у збірнику 25010200

Сума

Загальна сума

(словами)

Підпис платника

Касир

Додаток Г

Договір №
про передачу права на використання твору

м. Чернігів «___»_____201_р.

Чернігівський державний технологічний університет (надалі – Університет) в особі ректора ШКАРЛЕТА Сергія Миколайовича, який діє на підставі Статуту, з однієї сторони, та_____
(прізвище, ім'я, по батькові автора твору)

(надалі – Автор), з іншої сторони, (далі за текстом – Сторони), уклали цей Договір про таке:

1 ПРЕДМЕТ ДОГОВОРУ

1.1 Автор передає Університету виключне право на використання статті (далі за текстом – Твір) у наукових виданнях Університету _____
_____

1.2 Автор зобов'язується самостійно за свій рахунок задовольнити можливі претензії третіх осіб, пов'язані *з* майновими та немайновими авторськими правами на Твір.

2 ПРАВА ТА ОБОВ'ЯЗКИ СТОРІН

2.1 Відповідно до цього Договору Університет має такі права на використання Твору:
а) опублікування (випуск у світ);
б) відтворення будь-яким способом та у будь-якій формі;
в) переклад;
г) переробка, адаптація, аранжування та інші подібні зміни;
д) включення складовою частиною до збірників, баз даних, антологій, енциклопедій тощо;
е) публічне виконання;
є) продаж;
ж) імпорт його примірників, примірників його перекладів, переробок тощо.
з) інші дії, встановлені законодавством.

2.2 Університет не має права передавати свої права, отримані цим Договором, третім особам.

2.3. Автор підтверджує свої виняткові майнові права на Твір та має право:
а) використовувати Твір самостійно, зобов'язуючись не надавати права на використання Твору третім особам, не вказаним у цьому Договорі;
б) здійснювати контроль за використанням Твору.

3 ПОРЯДОК ПРИЙОМУ-ПЕРЕДАЧІ ТВОРУ

3.1 Прийом-передача Твору здійснюється шляхом передачі Університету електронної копії Твору, записаної на електронний носій зі вказаним загальним обсягом інформації.

4 ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ СТОРІН

4.1 Автор несе відповідальність за надану в Творі інформацію і за якість електронного носія, відшкодовує Університету всі витрати, спричинені позовами третіх осіб про порушення авторських та інших прав на Твір.

4.2 За невиконання або неналежне виконання зобов'язань за цим Договором Сторони несуть відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

5 РОЗВ'ЯЗАННЯ СУПЕРЕЧОК

5.1 Всі суперечки, які можуть виникнути між Сторонами та питання, що не врегульовані даним Договором, вирішуються шляхом переговорів на основі діючого законодавства та в судовому порядку.

6 ТЕРМІН ДІЇ ДОГОВОРУ

6.1 Цей Договір вступає в силу з моменту підписання і діє безстроково.
6.2 Сторони можуть розірвати Договір за взаємною письмовою згодою, а також у випадку невиконання зобов'язань за цим Договором однією зі Сторін.
6.3 Університет може розірвати Договір у випадку, якщо на момент укладення Договору Автор не володів виключними майновими правами на Твір.
6.4 Автор може розірвати Договір, якщо він позбавився майнових прав на Твір, а також якщо Договір містить умови, обтяжливі для Автора.

7 ДОДАТКОВІ УМОВИ

7.1 Всі зміни та доповнення до цього Договору дійсні за умови, якщо вони складені в письмовій формі та підписані Сторонами.
7.2 Договір укладено в двох примірниках, по одному для кожної Сторони. Примірники ідентичні і мають однакову юридичну силу.

Адреси та реквізити сторін:

"УНІВЕРСИТЕТ"	**"АВТОР"**
Чернігівський державний технологічний університет 14027 м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, код ЄДРПОУ 05460798	_____ (П.І.Б) _____ _____ (Паспорт, або інший документ, що посвідчує особу)
Ректор _____С.М. Шкарлет	Серія _____ № _____
	_____ (підпис)
	Тел._____

Примітки.

Надаються дані та підписи всіх авторів Твору.

Договір про передачу права на використання твору (Додаток Г) 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 державного технологічного університету і один екземпляр 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.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

НАУКОВИЙ ЗБІРНИК

№ 1 (63)

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 07.05.2013. Формат 60х84/8. Друк різограф.
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 29,64. Обл.-вид. арк. – 16,1.
Тираж 300 пр. Замовлення № 177/13

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.